

KANNATTAVUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT SULJETUN KIERRON KAUPALLISESSA VIHANNESKASVIHUONEESSA



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Visamäki 25.3.2011

Teemu Keitaanpää

Ympäristötekniologia
Hämeenlinna

Työn nimi Kannattavuuteen vaikuttavat tekijät suljetun kierron
kaupallisessa vihannekasvihuoneessa

Tekijä Teemu Keitaanpää

Ohjaava opettaja Kalle Rajantie

Hyväksytty _____._____.20_____

Hyväksyjä

Visamäki
Ympäristötekniikan ko

Tekijä	Teemu Keitaanpää	Vuosi 2011
Työn nimi	Kannattavuuteen vaikuttavat tekijät suljetun kierron kaupallisessa vihanneskasvihuoneessa	

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyössä määritetään viljeltävä vihannes, joka soveltuu parhaiten suljetun kierron periaatteella toimivaan kasvihuoneeseen Forssan Envitech-alueella. Agropolis Oy toimi tämän opinnäytetyön ohjaajana Envi Grow Park - ekoteollisuuspuisto kehittämisprojektissa.

Lisäksi opinnäytetyön tavoitteiksi määritettiin MTT:n kehittämää tekniikkaa hyödyntäen suljetun kasvihuoneen pääoma ja kurkun, tomaatin ja salaatin hinta markkinoille sekä keinot, joilla suljetun kasvihuoneen energian- ja jätteiden kierto saadaan mahdollisimman suljetuksi.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa määritettiin suljettuun kasvihuoneeseen vaikuttavat tekijät, kasvien kasvuun vaikuttavat tekijät ja kasvihuoneen energia- ja jätevirrat. Lisäksi opinnäytetyössä esitettiin MTT:n kehittämä pisaraverhojähdytysjärjestelmä, katelaskelmiin vaikuttavat tekijät ja suoritettiin herkkyysanalyysi katelaskelmille. Herkkyysanalyysi tehtiin kahdella skenaariolla, jossa muutettiin vihanneksesta saatavaa hintaa ja kolmea suurinta kustannustekijää: energiankulutusta, laskentakorkoa ja työkustannuksia.

Herkkyysanalyysin mukaan energiankulutus vaikuttaa eniten kasvihuoneiden kannattavuuteen. Katelaskelmat tehtiin tomaatille, kurkulle ja salaatile; yhden, kahden ja viiden hehtaarin viljelmille ja niistä tehtiin kustannus- ja tuottovertailu Agropolis Oy:n laatiman kurkun katelaskelman avulla. Katelaskelmien perusteella salaatti on paras vaihtoehto kasvihuoneeseen. Suljetun kierron kasvihuoneella saadaan energiatehokkuus paranemaan tekovalon osalta kurkkukasvihuoneessa noin 46 % ja tomaatin noin 24 %. LED-lampuilla voidaan valotus painottaa kasvien kannalta tärkeimpiin väreihin: siniseen ja punaiseen. Lisäksi lamppujen energiankulutus on puolet nykyisistä hehkulampuista ja siksi jatkossa todennäköisesti käytettävä valaistusmenetelmä suljetussa kasvihuoneessa. Kaikki tavoitteet saavutettiin.

Avainsanat energiatehokkuus, katetuottolaskenta, kannattavuus, kasvihuone

Sivut 67 s, + liitteet 9 s

Visamäki
Degree of Environmental Technology

Author	Teemu Keitaanpää	Year 2010
Subject of Bachelor's thesis	Factors affecting profitability in a closed circuit commercial greenhouse	

ABSTRACT


The aim of this thesis is to define a cultivable vegetable which can be used in a closed greenhouse in the Envitech area. Agropolis Ltd worked as the director of this thesis in Envi Grow Park's development project.

As well goal of this thesis was to define the capital outlay needed for the closed greenhouse, utilizing the know-how of the Research Institute of Agriculture and Food, the drop curtain cooling system, to define the price of cucumber, lettuce and tomato to the market, as well as the methods which are used to get the closed greenhouse energy and waste circulation to remain as closed as possible.

In the theoretical part of the thesis the factors affecting the closed greenhouse as well as the means of growing plants and the greenhouse energy and waste flows were defined. In addition, the drop curtain cooling system, developed by the Research Institute of Agriculture and Food, cost-effectiveness calculations and a sensitivity analysis were shown in the thesis. The sensitivity analysis was done in 2 scenarios, in which one was to change the profit gained from vegetables and the other was to change the 3 biggest cost factors: energy consumption, interest rate and work expenses.

According to the sensitivity analysis, energy consumption affects most the profitability of the greenhouses. Cost-effectiveness calculations were made for tomatoes, cucumbers and lettuce for 1-, 2 - and 5-hectare plantations, and from those a cost harvest level comparison was made by means of Agropolis Ltd's cucumber cost effectiveness calculations. According to cost-effectiveness, lettuce is the best choice for the greenhouse. The closed circulation greenhouse can be used to gain energy effectivity with artificial light in a cucumber greenhouse by 46 % and for tomato 24 %. LED-light can be used to press lightning into 2 most important colors: blue and red. Also energy consumption of lamps is half of the present flashlight and therefore the most probable lightning method in closed greenhouse. All goals were achieved.

Keywords Energy effectivity, cost-effectiveness calculations, profitability, greenhouse
Pages 67 p + appendices 9 p



Käsitteitä

Ekoteollisuuspuisto

Ekoteollisuuspuisto (eco-industrial park, EIP) on maantieteellisesti rajattu alue, jonka eri toimijoiden välillä tapahtuu energian, osaamisen, informaation sekä materiaalien vaihtoa. (www.envigrowpark.fi)

”Yhteistyön avulla liiketoiminnallinen yhteisö pyrkii saavuttamaan yhteistä hyötyä, joka on suurempi kuin erikseen omaa suoritustaan parantavien yritysten hyötyjen summa. Ekoteollisuuspuistossa kiinnitetään huomiota myös läheisiin yhteisöihin, jotta kokonaisvaikutus kehityksessä olisi positiivinen.” (Agropolis Oy 2009a, 1.)

Avoin tai perinteinen kasvihuone

Avoimessa kasvihuoneessa, toiselta nimeltään perinteisessä kasvihuoneessa riittävää lämpötilaa säädellään tuuletusluukuilla, varjostusverhoilla, kasvien veden haihdutuksella ja veden lisäämisellä ilmaan. Veden lisäyksellä pidetään kasveille sopiva kosteus riittävänä.

Suljettu kasvihuone

Suljetussa kasvihuoneessa ilman hiilidioksidipitoisuus on säädeltävissä ja taloudellisesti hallittavissa. Kasvihuoneeseen tuleva energia ja kosteus kyetään poistamaan taloudellisesti, jolloin kasvihuoneen sisällä vallitsevat optimiolosuhteet hiilidioksidin, kosteuden ja lämpötilan osalta. (Tahvonen, 2007)

”Kasvihuoneviljely on kehittymässä kohti suljettua kasvihuonetekniikkaa (myöhemmin ”älykasvihuone”), jossa huoneen sisälle tuleva energia ja kosteus poistetaan taloudellisesti, jolloin kasvihuoneen ilmasto voidaan säätää kasveille edulliseksi valon, kosteuden, lämpötilan ja hiilidioksidin osalta.” (Tahvonen, 2007)

W/m²

Wattia per neliometri kuvaa säteilyvoimakkuutta. Irradianssilla tarkoitetaan pinnalle osuvaa säteilyvirtaa pinta-alayksikköä kohti.

ppm

part per million, miljoonasosa

nm

nanometri, aallonpituuden yksikkö



Avoim kastelujärjestelmä

Systeemi, jossa kasveilta ylijäänyt vesi valuu sellaisenaan maaperään ilman erillistä käsittelyä.

Suljettu kastelujärjestelmä

Systeemi, jossa kasvien käyttämätön vesi kerätään talteen, esimerkiksi säiliöihin ja kierrätetään uudelleen kasvien kasteluun. Suljetusta kastelujärjestelmästä poistettava vesi käsitellään eikä ravinteet pääse maaperään.

Taloudellisuus


Yritys pyrkii toiminnassaan taloudellisuuden periaatteen noudattamiseen. Tällöin yritys muuttaa tuotantoprosessin vaadittavat panostekijät mahdollisimman edulliseksi tuotokseksi. Panostekijöitä voidaan mitata kustannuksilla. Taloudellisuus-käsite voidaan ilmaista kustannusten ja tuotoksen suhteella. Siis taloudellisuus mittaa yrityksen tai sen jonkin toiminnan sisäistä tehokkuutta.

Tuottavuus

Yritys pyrkii mahdollisimman suureen tuotokseen tietyllä panoksella tai tunnettuun tuotokseen mahdollisimman pienellä panoksella. Tuottavuudella mitataan sitä, kuinka paljon suoritetta saadaan aikaan tuotantopanosta kohden. Tuottavuus on tarkoitus käsittää kokonaistuottavuutena. Kokonaistuottavuudella tarkoitetaan tuotos-panossuhdetta, missä on huomioitu kaikki tuotantopanokset. Panokset voidaan jakaa pienemmiksi osiksi, esimerkiksi henkilöstöpanos, materiaalipanos, pääomapanos ja erikoispanos. Tällöin voidaan määrittää osatuottavuuksia. Tuottavuus mittaa yrityksen, tai jonkin sen toiminnon sisäistä tehokkuutta.

Kannattavuus

Kannattavuudessa verrataan saatuja tuottoja ja kustannuksia keskenään. Kannattavuus määritetään tuottojen ja kustannusten erotuksena. Yrityksen on pyrittävä tuottamaan voittoa, jolloin kannattavuus on positiivinen eli suoritteista saatujen tuottojen on oltava suuremmat kuin yrityksen kustannusten. Jos tuotot ovat kuitenkin pienemmät kuin kustannukset, kannattavuus on negatiivinen eli yritys tuottaa tappiota.



SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	1
2 ORGANISAATIOKUVAUKSET	2
2.1 Agropolis Oy	2
2.2 Envitech – kierrätyksen yritysalue	2
2.3 Envi Grow Park – ekoteollisuuspuisto	3
3 KASVIHUONE	6
3.1 Avoimen- ja suljetun kasvihuoneen erot	6
4 SULJETTUUN KASVIHUONEESEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT.....	7
5 KASVIHUONEVIHANNESTEN YHTEYTTÄMINEN JA KASVATTAMINEN ..	10
5.1 Valon spektri	10
5.2 Fotonivuo.....	10
5.3 Valon suunta ja kesto.....	11
5.4 Yhteenveto.....	11
6 SULJETUN KIERRON VIHANNESKASVIHUONEEN TOIMINTAPERIAATE JA SITÄ TUKEVA TUTKIMUSTYÖ	17
6.1 Kasvihuoneiden historia ja energiatehokkuus nykyaikaan saakka.....	17
6.2 Pisaraverhojäähdytysjärjestelmä	19
6.3 Valaistuksen vaikutus kasvihuoneviljelyssä.....	23
6.4 Kastelumenetelmät ja suljettu kasteluveden kierto	24
7 ENERGIA- JA JÄTEVIRRAT.....	28
7.1 Energiavirrat	28
7.2 Energiansäästömahdollisuuksia.....	28
7.3 Uusiutuvia energialähteitä ja maakaasu	36
7.4 Jätevirrat	37
7.4.1 Puutarhajäte.....	37
7.4.2 Energiajäte.....	38
7.4.3 Paperi- ja pahvijäte.....	39
7.4.4 Tasolasi.....	39
7.4.5 Metalli	40
7.4.6 Ongelmajäte	40
8 INVESTOINTIMENETELMÄT	42
8.1 Investointilaskenta eli investointien kannattavuuslaskenta	42
8.2 Nykyarvomenetelmä.....	42
8.3 Annuiteettimenetelmä.....	44
8.4 Sisäisen korkokannan menetelmä.....	45
8.5 Pääoman tuottoastemenetelmä	46
8.6 Takaisinmaksuajan menetelmä.....	47

8.7 Opinnäytetyössä käytettävä investointimenetelmä.....	48
9 KUSTANNUS-SATOTASO VERTAILUUN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	49
9.1 Agropolis Oy:n katelaskelma kurkulle	49
9.2 Tomaatin kustannus-satotasolaskelmat	50
9.3 Salaatin kustannus-satotasolaskelmat.....	51
9.4 Kurkun kustannus-satotasolaskelmat	52
9.5 Kasvihuoneeseen vaadittavan pääoman määrittäminen	52
10 HERKKYYSANALYYSI.....	54
11 JOHTOPÄÄTÖKSET	59
11.1 Avoimen- ja suljetun kasvihuoneen erot ja pisaraverhojäähdytysjärjestelmä...	59
11.2 Kasvihuonetuotantoon vaikuttavat tekijät	59
11.3 Kasvihuoneiden valotus ja energiatehokkuus.....	60
11.4 Energia- ja jätevirrat	61
11.5 Katelaskelmat ja pääoma	62
11.6 Herkkyysanalyysi	63
11.7 Modernin kasvihuoneen tulevaisuus	64
LÄHTEET	65
Liite 1	Kasvihuonetomaatin katelaskelma
Liite 2	Kasvihuonesalaatin katelaskelma
Liite 3	Kasvihuonekurkun katelaskelma
Liite 4	Herkkyysanalyysi tomaatin isot tulot ja pienet kustannukset yhden hehtaarin satotasolla
Liite 5	Herkkyysanalyysi tomaatin pienet tulot ja isot kustannukset yhden hehtaarin satotasolla
Liite 6	Herkkyysanalyysi salaatin isot tulot ja pienet kustannukset yhden hehtaarin satotasolla
Liite 7	Herkkyysanalyysi salaatin pienet tulot ja isot kustannukset yhden hehtaarin satotasolla
Liite 8	Herkkyysanalyysi kurkun isot tulot ja pienet kustannukset yhden hehtaarin satotasolla
Liite 9	Herkkyysanalyysi kurkun pienet tulot ja isot kustannukset yhden hehtaarin satotasolla

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä modernia teknologiaa hyödyntävän energiatehokkuuteen pyrkivän kaupallisen kasvihuoneen kustannus-satotasovertailu kurkusta, salaatista ja tomaatista. Tavoitteina työssä oli määrittää, miten viljeltävän lajin satotaso ja viljelmän koko vaikuttavat kasvihuoneen taloudelliseen kannattavuuteen ja kannattavuuden tekijät sekä määrittää suljettuun kasvihuoneeseen vaadittava pääoma ja laskea uusimpia energiatehokkuuteen liittyviä innovaatioita hyödyntäen kaupallisen kasvihuoneen tuotteiden eli kurkun, salaatin ja tomaatin hinta markkinoilla. Lisäksi piti selvittää keinot, joilla kasvihuoneen energian- ja jätteiden kierto saadaan mahdollisimman suljetuksi. Satotasot tässä opinnäytetyössä määritetään yhden, kahden ja viiden hehtaarin viljelmille.

Kauppapuutarhaliiton mukaan vuonna 2008 Suomessa oli 1825 kasvihuoneyritystä, joista 966 työskenteli vihannestuotannossa, 739 koristekasvituotannossa ja loppuosa 120 yritystä sekä vihannes- että koristekasvituotannossa. Kasvihuonevihanneksia tuotettiin vuonna 2008 yhteensä 75,6 miljoonaa kiloa. Tomaatin osuus oli 54 %, kurkun 42 % ja 4 % oli ruukkuvihanneksia.

Kauppapuutarhaliiton mukaan kasvihuonevihannesten tuonti on EU-maista vapaata. Suurin osa vihanneksista tulee Espanjasta tai Hollannista. Espanjalaisen vihannesten tuonti on suurimmillaan keskitalvella, Hollannista saapuvien vihannesten tuonti on puolestaan suurimmillaan tuontikauden alussa ja lopussa eli syksyllä ja keväällä. Suomessa tuotetun tomaatin ja kurkun markkinat ovat kuitenkin hyvät. Vuonna 2008 tomaatin markkinaosuus oli 64 % ja kurkun 71 %. Kotimaisen pääsädön aikaan suomalaisen kurkun ja tomaatin markkinaosuus ovat yhteensä yli 90 prosenttia.

Ensimmäiseksi opinnäytetyössä on tarkasteltu avoimen ja suljetun kasvihuoneen eroja. Tämän jälkeen on selvitetty suljettuun kasvihuoneeseen vaikuttavat tekijät ja kasvihuonevihannesten tavat yhteyttää ja kasvaa mahdollisimman satoa tuottavasti. Sitten on esitetty MTT:n kehittämä suljetun kasvihuoneen mahdollistava pisaraverho-jäähdytysjärjestelmä ja tämän toimintaperiaate. Seuraavaksi on tarkasteltu kasvihuoneen energia- ja jätevirtoja. Tämän jälkeen on esitetty esimerkein tunnetuimmat ja käytetyimmät investointimenetelmät, joita on yhteensä viisi erilaista. Sitten opinnäytetyössä on esitelty pohjana käytettävää Agropolis Oy:n tekemää katelaskelmaa kasvihuonekurkulle ja seuraavana on esitetty tekijän itse tekemät kustannus-satolaskeumat tomaatin ja salaatin osalta. Viimeisenä osana opinnäytetyössä on tehtävät johtopäätökset ja pohdintaa tulevaisuuden tutkimustarpeiksi.

2 ORGANISAATIOKUVAUKSET

2.1 Agropolis Oy

Agropolis Oy on asiantuntijayritys, jonka perustehtävä on kestävän elintarviketuotannon ja luonnonvarojen hyödyntävien elinkeinojen kehittäminen. Yrityksen päätoimipiste sijaitsee Jokioisilla, Jokioisten Tietotalossa. Muut toimipisteet ovat Helsingissä ja Lahdessa.

Yrityksen toimintakertomuksen mukaan ydinsaamisalueita täsmennettiin ja tarkennettiin vuonna 2009. Nykyään ydinsaamisalueita ovat liiketoiminnan kehittäminen ja innovaatiopalveluiden kehittäminen. Liiketoiminnan kehittäminen keskittyy elintarviketuotantoketjuun, elintarvike- ja ympäristölainsäädännön soveltamiseen ja uusiutuvien luonnonvarojen hyödyntämiseen. Vuorostaan innovaatiopalveluiden kehittäminen kohdistuu alan tutkimustulosten soveltamiseen, kehitysprosessien johtamiseen ja verkostojen ja klustereiden rakentamiseen. (Agropolis Oy, 2009b)

Yrityksen liikevaihto oli vuonna 2009 noin miljoona euroa ja henkilöstömäärä 14. (Agropolis Oy, 2009b).

Agropolis Oy kehittää Envi Grow Park – ekoteollisuuspuistoa. Yritys toimii tämän opinnäytetyön ohjaajana Envi Grow Parkin kehittämisprojektin puitteissa.

2.2 Envitech – kierrätyksen yritysalue

Forssassa sijaitseva Envitech-alue on kierrätysteollisuuden yritysalue Kiimasuolla. Envitech-alue on Suomen markkinajohtaja lasinkierrätyksessä. Lisäksi biojätteen, pilaantuneen maan ja sähkö- ja elektroniikkaromun käsittelyssä sen asema on valtakunnallisesti merkittävä. Envitech-alueella toimii lähes 20 yritystä, joilla on töissä yhteensä noin 250 ympäristöalan asiantuntijaa. (Pirkkamaa, 2008)

Envitech-alueen keskeinen sijainti, vahva perusinfrastruktuuri ja ympäristöalan organisaatioiden ja yritysten verkostoituminen ovat alueen vahvuuksia, mikä on mahdollistanut kierrätystoimintoja ja jätehuollon investointeja jopa ensimmäisenä maailmassa (Pirkkamaa, 2008).

Alueen ympäristöalan yritykset laativat yhdessä Agropolis-Tiedepuiston, Forssan kaupungin, Forssan Seudun Kehittämiskeskuksen ja Hämeen ammattikorkeakoulun kanssa Envitech-alueelle strategian vuoteen 2015. Strategian tavoitteena on tehdä Envitech-alueesta alan markkinajohtaja vuoteen 2015 mennessä. (Pirkkamaa, 2008)

2.3 Envi Grow Park – ekoteollisuuspuisto

Envi Grow Park on Forssan Envitech-alueelle sijoittuva kansainvälinen ja kehittyvä ekoteollisuuspuisto (Eco-Industrial Park, EIP). Ekoteollisuuspuisto on maantieteellisesti rajattu alue, jonka eri toimijoiden välillä tapahtuu energian, osaamisen, informaation sekä materiaalien vaihtoa. Ekoteollisuuspuiston yhtenä etuna on yhteinen hyvä, joka on enemmän kuin yksittäin toimijoiden tekemänä. Alueelle on sijoittunut kierrätystä, kierrätysmateriaaleja, jätteiden käsittelyä, ja uusiutuvaa energiaa hyödyntävää teollisuutta. (www.envigrowpark.fi)

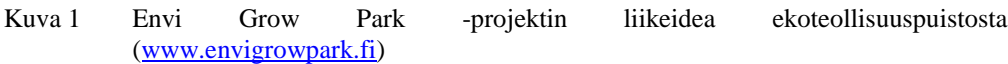
”Envi Grow Parkin liikeideana on toimia johtavana biomateriaalien -ja energian tuotantopaikkana, jossa otetaan kokonaisvaltaisesti ja ennakkoiden huomioon ilmastomuutoksen kautta edelleen kiristyvät säädökset ja kansainvälisesti jätteiden määrän vähentämiseen tähtäävät pyrkimykset (zero waste techniques, pre-cycling) niin tuotannossa tarvittavassa energiassa, itse tuotantoprosesseissa, tuotteiden jatkojalostuksessa, logistiikassa kuin myös yritysten ja seudun imagomarkkinoinnissa.“ (www.envigrowpark.fi) Täten Envi Grow Park – ekoteollisuuspuistossa on yhtenä tavoitteena tuotannon mahdollisimman pitkälle viety suljettu kierto ja sekundääriraaka-aineiden hyödyntäminen.

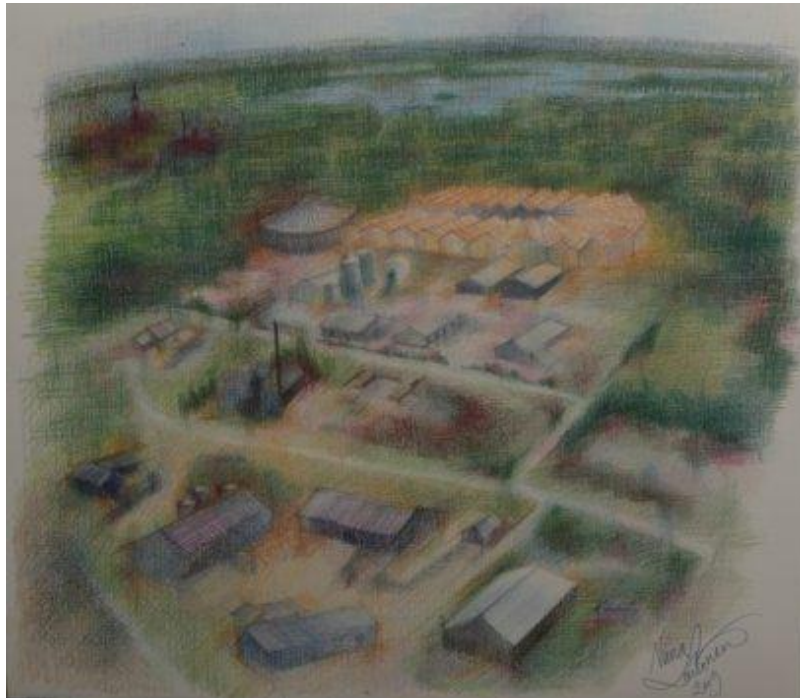
”Envi Grow Park -projektin päätavoitteena on luoda edellytykset ja käynnistää biojalostamo ja ekoteollisuuspuisto, joka toimii kestävän liiketoiminnan innovaattorina Forssassa ja tuottaa korkealaatuisia, maa- ja elintarviketaloudesta ja yhdyskunnista peräisin olevista biohajoavista materiaaleista tuotettavia elintarvikkeita, eläinravintoa ja viherrakennustuotteita. Yksikkö lisää merkittävästi ekoliiketoiminnan kilpailukykyä, uusia innovatiivisia liiketoimintatavoitteita ja työllisyyttä, sekä toimii alan osaamisen viennin ja kansainvälistymisen edelläkävijänä Suomessa.” (Agropolis Oy, 2009a, 7.)

Envi Grow Park -ekoteollisuuspuisto kehittämisprojektin yhtenä tavoitteena on rakentaa Forssan Envitech-alueelle biojalosteita hyödyntävä tuotantoyksikkö eli biojalostamo. Vihanneskasvihuone, joka toimii suljetun kierron periaatteella, on yksi mahdollinen yritysvaihtoehto.

Tuotantoyksikön vaatima lämpöenergia on mahdollista saada Envitech-alueelle vuonna 2009 rakennetusta mädättämöstä, jonka rakensi Envor Biotech Oy. Mädättämön lopputuotteena syntyy biokaasua, metaania, joka muunnetaan CHP-yksikön avulla lämmöksi ja sähköksi. CHP-yksikön tuottama lämpöenergia käytetään talvella tuotantoyksikön, esimerkiksi vihanneskasvihuoneen lämmitykseen ja prosessilämpönä (etanolin tislauksessa). Kesällä mädättämön lämpöenergia hyödynnetään jäähdytykseen, rakeistukseen ja prosessilämpönä. Metaanin lisäksi mädättämöstä syntyy lopputuotteena hiilidioksidia, joka voidaan hyödyntää vihanneskasvihuonetuotannossa. Toisena hyödyntämismahdollisuutena hiilidioksidia voidaan kierrättää hyödyntäen sitä kasvihuoneessa käytettävässä lannoitteessa, jossa hiilidioksidi on yksi lisäainekomponenteista. (Agropolis Oy, 2009a, 4.)

Kuvassa 1 on Envi Grow Park –ekoteollisuuspuiston liikeideaa selventävä kuva, jossa ilmenee suljettu kierto. Kuvassa 2 on taiteilija Laitosen liitutyö, missä on hänen näkemyksensä ekoteollisuuspuistoon tulevaisuudessa sijoittuvasta modernista kasvihuoneesta.





Kuva 2 Forssalaisen kuvataiteilijan ja taidegraafikon Niina Laitosen näkemys integroidusta kasvihuoneesta ja kalanviljelylaitoksesta Envi Grow Park -ekoteollisuuspuistossa, liitutyö (www.envigrowpark.fi)

3 KASVIHUONE

3.1 Avoimen ja suljetun kasvihuoneen erot

Perinteisessä eli avoimessa kasvihuoneessa sisäistä lämpötilaa pyritään säätämään tuuletusluukuilla, varjostusverhoilla tai kasvien veden haihdutuksella. Yhtenä keinona on myös veden lisäys ilmaan, jolla pyritään lämpötilan säätämisen lisäksi pitämään kasvihuoneen sisäinen kosteus sopivana.

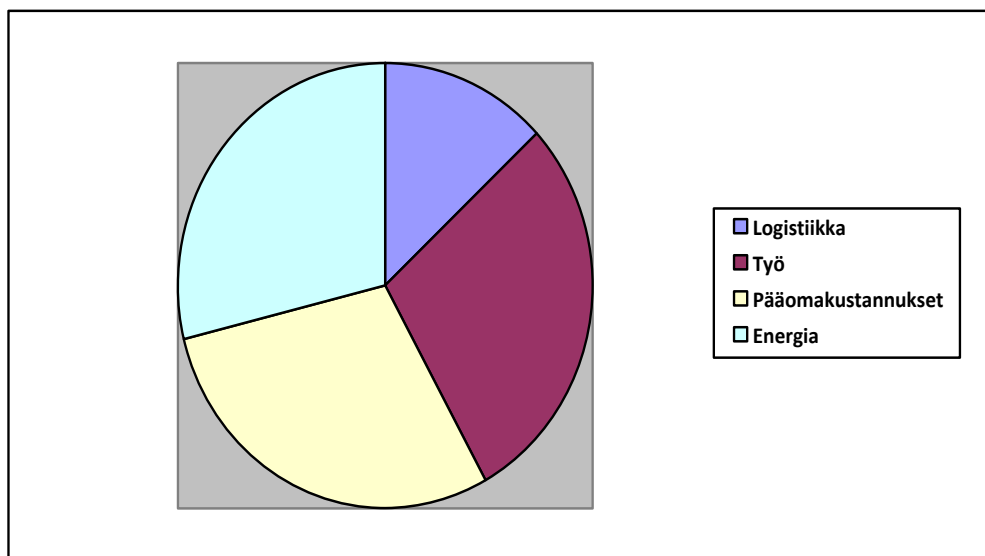
Suljetussa kasvihuoneessa käytetään eri tuotantomenetelmiä vihannesten viljelyyn kuin perinteisessä viljelyssä. Suljettu kasvihuone on tulevaisuutta, jossa tuuletusluukut pystytään pitämään kiinni taloudellisesti, jolloin ilman hiilidioksidi, kosteus ja lämpötila ovat kontrolloitavissa kasvihuoneen sisällä. Suljettu kasvihuone mahdollistaa myös huoneen sisälle tulevan auringon valon eli energian säätämisen. Ylijäävä energia kyetään poistamaan myös taloudellisesti. (Tahvonen 2007; Riekkinen 2009, 3-4.)

Suljetun kasvihuonetuotantomallin avulla pyritään minimoimaan suurin viljelystekninen ongelma, korkeat lämpötilat kasvihuoneessa. Sadon muodostumisen tekijää, hiilidioksidia ei kyetä täysimääräisesti hyödyntämään avoimessa kasvihuoneessa korkean lämpötilan takia. (Tahvonen 2007; Riekkinen 2009, 3.)

Pölytys tapahtuu ainoastaan tomaatin kasvihuoneviljelmissä. Kurkku ja salaatti eivät tarvitse pölytystä. Tomaatti pölytetään täristämällä sähköhammasharjalla kukkaterttuja päivittäin tai joka toinen päivä. Valoisana aurinkoaikana pölytyksen hoitavat kimalaiset tai tukilangan täristys aamupäivisin. (Tahvonen, sähköpostiviesti 1.2.2011)

4 SULJETTUUN KASVIHUONEESEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Kasvihuoneeseen vaikuttavat monet tekijät, niin kustannusten kuin tuottojen puolesta. Pääomaksi voidaan laskea kustannukset kasvihuoneen rakentamiseksi, tekniset tilat järjestelmän ylläpitämiseksi, jäähdytysjärjestelmä, lämmönvaihto ja tonttivuokra. On myös huomioitava pankista otettava laina korkoineen. Tarvikekustannukset muodostuvat vihannesten taimista, biologisesta torjunnasta, kauppakunnostustarvikkeista, laitteistoinvestoinneista, jätehuollosta, työvaatteista ja myyntituotteiden rahdista. Oman osansa kustannuksista muodostaa kasvihuoneessa työskentelevä henkilöstö eli työvoimakustannukset. (Agropolis Oy, kasvihuonekustannuslaskelma) Lisäksi tarvikekustannuksiin voidaan sisällyttää muun muassa pakkausmateriaalit ja desinfiointiaineet. Kuvassa 3 näkyvät kustannustekijöiden sisäiset suhteet.



Kuva 3 Kustannustekijät (Riekkinen 2009)

Kuvan perusteella voidaan todeta, että energiankulutus on merkitsevä tekijä pääomakustannusten ja työkustannusten rinnalla kasvihuoneen kannattavuuteen vaikuttavista tekijöistä. Luonnollisesti satotason kasvattaminen lisää pääomakustannuksia, työkustannuksia, energian ja raaka-aineiden tarvetta.

Kasvihuoneen yksi merkittävä kustannus on energia. Kasvihuoneen energian tarve koostuu valaistukseen tarvittavasta sähköenergiasta ja lämmitykseen kuluva energiasta. Muita kustannuksia ovat kasvualustan, lämpöenergian, hiilidioksidin sekä käyttö- ja jäteveden kustannukset. Tuottoihin vaikuttaa puolestaan satomäärät, vihanneksesta saatava hinta ja ylijäävä energia. Tuloja kasvihuoneen yrittäjä voi saada myös vihanneksista syntyneestä kasvijätteestä

ja kasvualustasta turpeen osalta. Agropolis Oy:n tekemässä katelaskelmassa oletetaan, että kasvijäte ja turvejäte menevät korvauksetta biovoimalalle.

Tuleva kasvihuoneen energia muodostuu auringon säteilystä, sähköenergian tuottamasta valosta ja lämmityksestä. Suljetussa kasvihuoneessa on korkeampi tekovalon määrä kuin avoimessa kasvihuoneessa. Suljetussa valaistuksen asennusteho on noin 250 wattia neliömetrillä, kun avoimessa kasvihuoneessa se on noin 150 W/m². Keinovalon ja luonnonvalon lisäys nostaa kasvihuoneen sisälämpötilaa, minkä seurauksena ilmanvaihdon tarve kasvaa. Lisääntynyt ilmanvaihto puolestaan pienentää hiilidioksidin pitoisuutta ja siitä saatavaa hyötyä. Kasvihuoneviljelyn tuottavuuteen vaikuttaa tällöin luonnonvalon määrä, sähkön ja hiilidioksidilisäyksen hinta, ulkolämpötila, sadon määrä ja myyntihinta. Yhden prosentin lisäys auringonvaloon parantaa vihannessatoa noin 0,8 %. (Anderson 2010, 11; Secher 2006, 16.)

Kasvihuoneessa vallitsevilla olosuhteilla on myös oma vaikutuksensa sato-määriin. Tällaisia ovat hiilidioksidipitoisuus, kosteus ja lämpötila. Kosteus on perinteisessä kasvihuoneessa yleensä lähellä 100 % johtuen kasvien aineen-vaihdunnasta ja kasvihuoneen massa- ja energiataseesta. Suljetussa kasvihuoneessa voidaan säätää tarkasti ja hallitusti kasveille sopiva lämpötila ja kosteus- ja hiilidioksidipitoisuus. Siten saadaan kasveille suotuisimmat olosuhteet kasvaa, mahdollisesti optimiolosuhteet. (Riekkinen 2009, 5; Motiva Oy 2005, 10.)

Motiva Oy:n tekemän selvityksen ”Kasvihuoneiden energiankulutus Suomessa” mukaan (2005, 14.) kasvihuoneiden energiankäyttöön vaikuttaa lämpötilan ja kosteuden lisäksi pilvisyys ja tuuli sekä valaistus, lämmitys, hiilidioksidi, ilmastointiluukkujen avaus, verhot, kastelu, lannoitus, laatu ja tuotto. Suljetun kierron periaatteella toimivassa kasvihuoneessa eivät ulkoilmaa koskevat tekijät vaikuta yhtä suuresti kuin avoimessa kasvihuoneessa. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi tuuli ja ulkoilman lämpötila. Pilvisyys vaikuttaa ulkoa tulevan auringonvalon määrään, joka voi vaihdella suuresti yhden vuorokauden sisällä. Suljetussa kasvihuoneessa ei tarvitse mahdollisesti avata ilmastointiluukkuja lainkaan, jolloin sisäinen hiilidioksidipitoisuus, kosteus ja lämpötila voidaan hallita paremmin. Lämmitystarve on pienempi suljetussa kasvihuoneessa, koska ilmastointiluukkujen ollessa auki karkaa ulos lampuista ja haihdunnasta syntynyttä lämpöenergiaa. Yleensä perinteisissä kasvihuoneissa ei käytetä lämpö- tai varjostusverhoja, jotka estävät lämpösäteilyä karkaamasta kasvihuoneen ulkopuolelle ja vähentävät kasvien haihduntaa. Kasteluun vaikuttaa käytetty kastelumenetelmä (yleensä tippukastelu) ja ne, onko kasvihuoneessa kasteluveden kiertojärjestelmä. Suljetussa kasvihuoneessa on mahdollista käyttää dynaamista kasvuolosuhteiden säätämistä, jolloin laatu ja tuotto ovat paremmin hallittavissa. Suljetussa kasvihuoneessa kyetään hyödyntämään uusinta lannoitustekniikkaa.

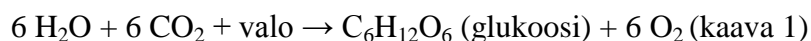
Kauppapuutarhaliiton mukaan käytetty katemateriaali ja muu rakennustekniikka vaikuttaa energiankäyttöön. Kasvihuoneisiin käytettäviä katevaihtoehtoja ovat muovi-, kerroslevy- ja lasikate. Lisäksi esimerkiksi kattilalaitoksen

ajoparametrit, hyötysuhde, kunto, säätö ja tekniikka vaikuttavat energiankulutukseen.

5 KASVIHUONEVIHANNESTEN YHTEYTTÄMINEN JA KASVATAMINEN

5.1 Valon spektri

Kasvit pystyvät yhteyttämään näkyvän valon spektrialueella (400–700 nm), mistä saavat tarvitsemansa energian muun muassa kasvamiseen. Yhteyttämisessä eli fotosynteesissä kasvit sitovat epäorgaanisia lähtöaineita orgaanisiin yhdisteisiin valosta saatavan energian avulla. Tunnetuin ja tärkein yhteyttämisreaktio on hiilidioksidin yhteyttäminen. Reaktiossa kasvi muodostaa hiilidioksidista ja vedestä auringon valon avulla sokeria ($C_6H_{12}O_6$) ja hapetta. Yhteyttämisen seurauksena syntyvä sokeri on tarkemmin sanoen glukoosia, joka on yksi sokerin muodoista. Kasvit pystyvät hyödyntämään glukoosia aineenvaihduntansa energianlähteenä ja solujensa rakennusaineena. Happi puolestaan vapautuu ilmaan yhteyttämisreaktion jälkeen. (Anderson 2010, 8-9.)



5.2 Fotonivuo

Spektrin lisäksi valon irradianssilla eli säteilyvoimakkuudella on merkitystä kasvien kasvulle. Irradianssilla tarkoitetaan pinnalle osuvaa säteilyvirtaa pinta-alayksikköä kohti, jonka yksikkö on W/m^2 . ”Valaistustekniikan perussuureita painotetaan ihmisen silmän herkkyyssäyrällä, joka eroaa huomattavasti kasvien fotosynteesisten pigmenttien absorptiokäyrästä. Siten valaistusvoimakkuuden yksikkö luksit ei sovellu käytettäväksi kasvivalotuksen yhteydessä.” (Anderson 2010, 10; Wikipedia.org, säteilyvoimakkuus)

Kasvien valoreseptorit absorboivat valoa kvantteina, jotka ovat massattomia hiukkasia. Näkyvän valon alueella (400–700 nm) kvantteja kutsutaan fotoneiksi. Fysikaalisen kaavan mukaan yhden fotonin energia on kääntäen verrannollinen sen aallonpituuteen, missä

$$E = h \cdot c / \lambda (\text{kaava 2})$$

h on Planckin vakio $6,626076 \cdot 10^{-34}$ Js

c on valon nopeus $2,9979 \cdot 10^8$ m/s

λ on valon aallonpituus, yksikkö m

Kasvien yhteyttämisen kannalta valokvanttien määrällä on suurempi merkitys kuin niiden energialla, joten fotosynteesisellä fotonivuolla (photosynthetic photon flux, PPF) pystytään paremmin kuvailemaan kasvien käytössä olevan valon määrää. Fotonivuolla pystytään laskemaan fotonien lukumäärä aikayk-

sikössä maanpinnalle. Yksikkö on $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, missä 1 mol tarkoittaa $6,022 \cdot 10^{23}$ ftonia. (Anderson 2010, 10-11.)

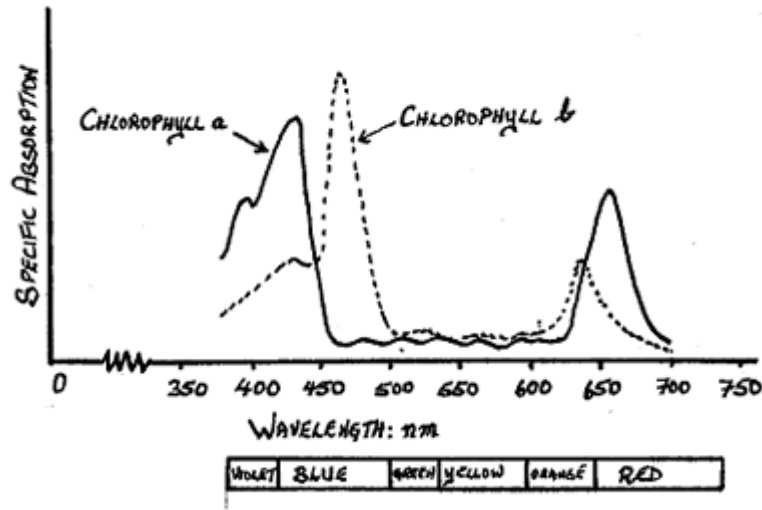
5.3 Valon suunta ja kesto

Kasvit kykenevät myös ohjailemaan kasvuaan valon suunnan perusteella. Tutkimusten mukaan sinistä valoa vastaanottavat reseptorit saavat kasvin kasvamaan joko valoa kohti tai siitä poispäin. Kasvun suunta riippuu siitä, mikä on kasvin kannalta parempi. Auringon valoon päin tai poispäin kasvaminen vaihtelee eri kasvilajien välillä. Kasvi voi tarpeen vaatiessa pyrkiä hyödyntämään mahdollisimman paljon saamastaan säteilyenergiasta tai minimoimaan sen. (Anderson 2010, 11-12.) Esimerkiksi aavikolla elävät kasvit saavat valosta energiaa yli tarpeidensa, minkä jälkeen ne kääntyvät pois polttavan auringon alta.

Valon suuntaan liittyy kiinteästi valon kesto. Kun auringon valoa ei ole tarjolla tai ylimääräistä lämpöä ei tarvitse haihduttaa lehtien kautta, kasvit laskevat lehtensä. Valon määrän avulla kasvit tunnistavat päivän, yön ja vuodenaikojen vaihtelut. Vuodenaikojen seurauksena valoenergiaa hyödyntävän ajan pituus vaihtelee, mikä vaikuttaa kasvien kehitysvaiheisiin. Siis vuodenaikojen vaihtuessa päivän ja yön pituudet muuttuvat. Esimerkiksi lehtisalaatin lehdenreunapolte –tautia voidaan ehkäistä nopeuttamalla yön ja päivän ajan vaihtelua. (Anderson 2010, 12.)

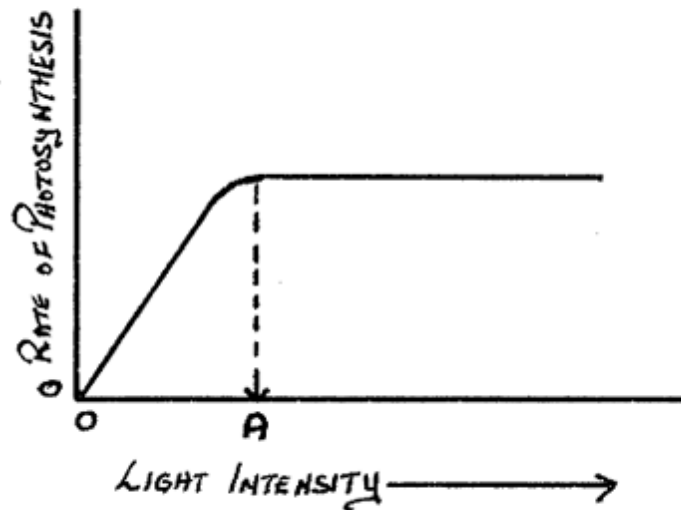
5.4 Yhteenveto

Kasveilla on monia keinoja saada auringosta tarvitsemansa energia, minkä avulla ne kasvattavat varttaan, lehtiään tai yhteyttävät. Fotosynteesissä ilmassa olevasta hiilidioksidista ja vedestä auringon valon läsnä ollessa syntyy kemiallisen reaktion seurauksena happea ja glukoosia. Kasvien yhteyttämisen kannalta fotonien lukumäärä eli fotonivuo on merkitsevämpi kuin auringosta saatava energia. Auringon valon säteilyenergiaa kasvit absorboivat ja muuttavat sen itselleen hyödylliseksi energiaksi. On todettu, että valon spektristä sininen ja punainen valo ovat tärkeimmät kasvin kasvamisen kannalta. Kasvin sinisen valon reseptorit antavat kasvin kasvamiselle suunnan. Valon määrällä eli kestolla kasvit määrittelevät itselleen päivän ja yön. Päivän ja yön vaihteluilla voidaan vaikuttaa kasvin kehitysvaiheisiin. Suljetussa kasvihuoneessa päivän pituus saattaa olla jopa 20 tuntia vuorokaudessa. Seuraavassa on esitetty kuvioita, joista kuvassa 4 ilmenee yhteys valon aallonpituuden ja kasvien absorboinnin välillä, kuvassa 5 fotosynteesinopeuden riippuvuus valon intensiteetistä, kuvassa 6 lämpötilan vaikutus yhteyttämisenopeuteen, kuvassa 7 hiilidioksidipitoisuuden vaikutus fotosynteesinopeuteen ja kuvassa 8 valon intensiteetin ja hiilidioksidipitoisuuden yhteisvaikutus fotosynteesiin.



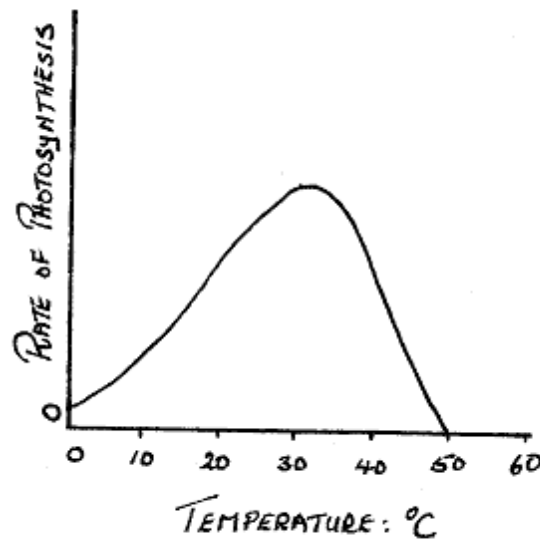
Kuva 4 Klorofyllin absorptiokirjo
(<http://www.skool.ie/skool/homeworkzone.asp?id=233>)

Kuvasta voidaan nähdä, että klorofylli a absorboi valoa erittäin vahvasti aallonpituuden ollessa violetti, sininen ja punainen. Vihreällä, keltaisella ja oranssilla aallonpituudella klorofylli a:n absorptio on pientä. Klorofylli b:n absorptio on erittäin korkeaa sinisen aallonpituudella ja kohtalaisen hyvää violetin ja oranssin valon aallonpituuksilla. Klorofylli b:llä on havaittavissa matala absorptio vihreän, keltaisen ja punaisen aallonpituuksilla. Tästä voidaan päätellä, että kasvit absorboivat erittäin voimakkaasti valon aallonpituuden ollessa violetti, sininen, tai punainen ja kohtalaisen hyvin oranssilla aallonpituudella. Absorptio on vähäistä vihreän ja keltaisen valon aallonpituuksilla. Syynä vihreän valon heikkoon yhteyttämiskykyyn on se, että vihreä väri heijastuu suurimmaksi osaksi pois kasvien viherhiukkasten johdosta. Vihreä absorboi punaista ja sinistä. Keltainen väri puolestaan heijastaa punaista ja vihreää valoa ja absorboi sinistä valoa. Punaisesta valosta heijastuu punainen valo ja kasvi absorboi sinistä ja vihreää valoa. On huomioitava, että yhteyttämistä tapahtuu kaikilla näkyvän valon aallonpituuksilla. (<http://www.skool.ie/skool/homeworkzone.asp?id=233>)



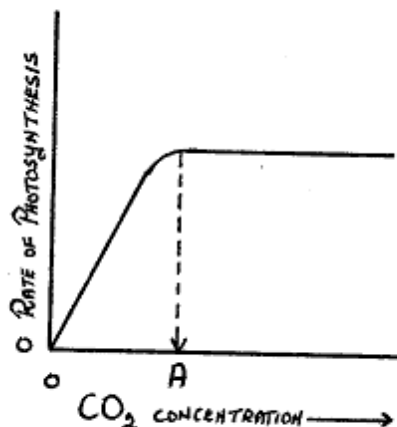
Kuva 5 Valon voimakkuuden ja fotosynteesinopeuden välinen yhteys (<http://www.skool.ie/skool/homeworkzone.asp?id=233>)

Valon voimakkuuden kasvaessa kasvaa fotosynteesinopeus pisteeseen A asti. Pisteessä A valon voimakkuus on fotosynteesin rajoittava tekijä, jolloin fotosynteesinopeus on saavuttanut maksiminsa. Pistettä A voidaan kutsua myös kyllästymispisteeksi, (eli valon voimakkuus ei ole enää rajoittava tekijä.) Tämän pisteen jälkeen fotosynteesinopeus pysyy vakiona eli valon intensiteetin lisäyksellä ei ole vaikutusta fotosynteesinopeuteen. (<http://www.skool.ie/skool/homeworkzone.asp?id=233>)



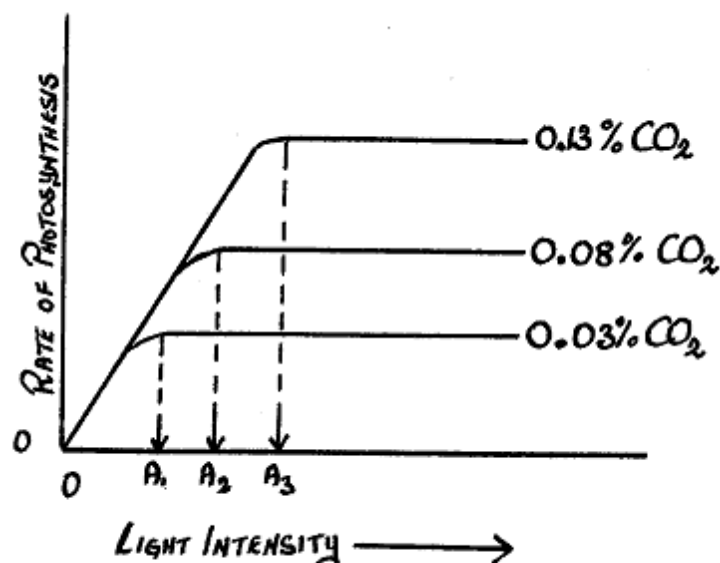
Kuva 6 Fotosynteesinopeuden ja lämpötilan yhteys
(<http://www.skool.ie/skool/homeworkzone.asp?id=233>)

Lämpötilan ollessa 0 °C fotosynteesinopeus on alhainen, mikä on seurausta kasvin entsyymien matalasta aktiivisuustasosta. Yhteyttämisreaktion saavat aikaan entsyymit. Lämpötilan noustessa fotosynteesinopeus kasvaa. Tämä on havaittavissa 30 °C:seen. Huippu on 30 °C kohdalla, jolloin entsyymien aktiivisuus on maksimaalinen, minkä jälkeen fotosynteesinopeus laskee. Fotosynteesinopeuden laskeva suunta voidaan selittää entsyymien denaturoitumisena. Tällöin entsyymien elinolot eivät ole enää otolliset tai paranemaan päin, vaan päinvastoin. Lämpötilan ollessa 50 °C fotosynteesinopeus on loppunut, jolloin entsyymien toiminta on pysähtynyt.
(<http://www.skool.ie/skool/homeworkzone.asp?id=233>)



Kuva 7 Hiilidioksidipitoisuuden vaikutus fotosynteesinopeuteen
(<http://www.skool.ie/skool/homeworkzone.asp?id=233>)

Kun kasvin ympäristössä ei ole hiilidioksidia, fotosynteesi ei tapahdu. Hiilidioksidipitoisuuden kasvaessa pisteeseen A kasvaa myös fotosynteesinopeus. Tästä voidaan päätellä, että mitä enemmän hiilidioksidia, sitä nopeammin kasvaa entsyymien aktiivisuus. Pisteessä A hiilidioksidipitoisuus on rajoittava tekijä. Pistettä A voidaan kutsua myös kyllästymispisteeksi. Tämän pisteen jälkeen fotosynteesinopeus pysyy vakiona eli hiilidioksidipitoisuuden lisäyksellä ei ole vaikutusta fotosynteesinopeuteen.
(<http://www.skool.ie/skool/homeworkzone.asp?id=233>)



Kuva 8 Valon voimakkuuden ja hiilidioksidipitoisuuden rajoittava vaikutus fotosynteesinopeuteen (<http://www.skool.ie/skool/homeworkzone.asp?id=233>)

Pisteessä A_1 on hiilidioksidipitoisuus 0,03 % kyllästymispiste. Tämän jälkeen, jos lisätään hiilidioksidipitoisuutta 0,08 % tasolle, kasvaa jälleen fotosynteesinopeus. Keskimmäisen hiilidioksidipitoisuuden kyllästymispiste on kohdassa A_2 . Samoin lisättäessä tästäkin hiilidioksidipitoisuutta kasvaa samanaikaisesti fotosynteesinopeus. Pisteessä A_3 on hiilidioksidipitoisuuden 0,13 % kyllästymispiste. Kyllästymispisteessä hiilidioksidipitoisuus on fotosynteesinopeuden rajoittava tekijä. (<http://www.skool.ie/skool/homeworkzone.asp?id=233>)

Kuvioiden perusteella voidaan todeta, että fotosynteesinopeuteen vaikuttavat monet eri tekijät. Fotosynteesinopeuden rajoittavia tekijöitä voivat olla pieni valon voimakkuus, matala lämpötila, matala hiilidioksidipitoisuus, klorofyllit, tai riittämätön entsyymien aktiivisuus.

6 SULJETUN KIERRON VIHANNESKASVIHUONEEN TOIMINTAPERIAATE JA SITÄ TUKEVA TUTKIMUSTYÖ

6.1 Kasvihuoneiden historia ja energiatehokkuus nykyaikaan saakka

Maanviljelyä on harjoitettu iät ja ajat, mutta kohti nykyistä modernia kasvi-huonetuotantoa otettiin ensimmäiset askeleet 1980-luvulla. Silloin otettiin käyttöön moderni kasvualusta ja siihen liittyvät kastelu- ja lannoitusmenetelmät. Modernit kasvualustat laitettiin muovipusseihin, jotka eristettiin maapohjasta. Kehitettiin menetelmiä, jotka torjuivat kasveja uhkaavia tauteja ja tuholaisia biologisesti. Näillä biologisilla torjuntamenetelmillä yhdistettynä uuteen kasvualustaan saavutettiin ensimmäistä kertaa torjunta-aineeton kasvihuonevihannesten tuotanto. Lisäksi 1980-luvulla vallankumouksen kasvihuoneviljelyyn toivat tietokoneiden ohjaamat olosuhteiden säätö- ja ohjausjärjestelmät. Huomioitavan arvoista tällä uudistusrikkaalla 1980-luvulla oli tekovalojen kehittyminen, mikä mahdollisti ympärivuotisen viljelyn muun muassa kurkulle ja salaatile. (Tahvonen 2009)

1990-luvulla yleistyivät ympärivuotisen viljelyn mahdollistavat tekovalot myös tomaatin tuotannossa. Viljelmät perustettiin silloisiin luonnonvalon tuotantoon optimoituihin yksittäiskasvihuoneisiin. Tämän seurauksena viljeltävien vihannesten, tomaatin ja kurkun vuosisadot kasvoivat kaksinkertaisiksi. Suuri muutos vuotuisten satojen kasvuun voidaan selittää kuudella lisäkuukaudella. Siis keskimäärin kuukausitasolla ympärivuotisessa viljelyssä ei päästy 1990-luvulla luonnonvalotuotantoa parempaan energiatehokkuuteen. (Tahvonen 2009)

Ympärivuotisella viljelyllä kurkun sato nousi luonnonvalotuotannon ansiosta 40 kilogrammasta neliömetrillä 80 kilogrammaan neliömetrillä (kg/m^2). Energiatehokkuuden pudotessa 18:sta 13 kilowattituntiin kilogrammalla (kWh/kg). Tomaatin sadoissa päästiin 60 kg/m^2 energiatehokkuuden ollessa 17 kWh/kg . Luonnonvalo kasvihuonetuotannossa tomaatin sato oli 30 kg/m^2 ja energiatehokkuus 23 kWh/kg . (Tahvonen 2009)

Pieni energiatehokkuuden parannus johtuu ympärivuotisessa tuotannossa siitä, että lamppujen tuottama lämpö vähentää sähköistä lämmitystä. Myös luonnonvalotuotannossa vihanneksia kasvatetaan istutuksen jälkeen ilman satoa noin kaksi kuukautta talvella. (Tahvonen 2009)

2000-luvulla on tehty syvällistä biologista ja tuotantoteknistä kasvihuoneviljelyn tutkimusta ja kehitystyötä. Tähän on päästy hyvällä ja tehokkaalla yhteistyötä viljelijöiden ja tutkijoiden välillä. (Tahvonen 2009)

Tällä vuosikymmenellä on otettu käyttöön energiatehokkaat ryhmäkasvihuoneet. Kasvien kasvualustat ovat nykyään kohotetuissa kasvatuskouruissa noin 80 senttimetrin korkeudessa, jolloin saavutetaan parempi ilmankierto kasvihuoneen sisällä ja kasvien tautivaara on pienentynyt entisestään. Yksi menetelmä on kasvihuoneiden korkeuden muuttaminen. Nykyisin ne rakennetaan noin 6 metriä korkeiksi verraten aiempaan 3-3,5 metrin korkeuteen. Tämä menetelmä antaa kasveille tilaa kasvattaa enemmän lehtiä, jotka yhteyttävät, mikä on yksi syy sadon kasvuun. (Tahvonen 2009)

Ryhmäkasvihuoneissa tekovalaistus tapahtuu kiinteällä valaistuksella 250 wattin teholla neliömetrillä, minkä lisäksi välivalotustekniikalla. Välivalotustekniikassa tekovaloa annetaan kasvien sivuilta, jolloin kasvien alimmat lehdet pystyvät myös yhteyttämään tehokkaasti ja hedelmät saavat hyvän värin, maun ja säilyvyyden. Ryhmäkasvihuoneissa kasvit saavat tekovaloa lähes ympäri vuorokauden, esimerkiksi kurkun viljelyssä päivän pituus on 20 tuntia. Siis huomionarvoista on, että kesän aurinkoisina päivinäkin tekovaloja käytetään myös aamulla ja illalla. Viljelytekniikassa on otettu käyttöön väli-istutus-menetelmä, jolloin sadonkorjuussa ei ole lainkaan taukoja, vaan uudet kasvit kasvavat hetken rinta rinnan vanhojen kanssa. Tämä menetelmä on tuonut esimerkiksi kurkulle noin kaksi sadollista lisäkuukautta vuodessa. Lisäksi lämpöverhoilla ja varjostuksella voidaan säästää energiaa, koska ne pitävät lampuista tai auringosta tulevan energian kasvihuoneen sisällä. Verhot vähentävät myös niin sanottua valosaastetta. (Tahvonen 2009)

Ryhmäkasvihuoneissa otetaan talteen tekovalaistuksesta aiheutuvaa ja kasvien haihdunnan tuloksena veteen syntyvää energiaa ja hyödynnetään sitä lämmitykseen. Tämä lämmitysenergia riittää kasvihuoneen lämmittämiseen, jos ulkolämpötila pysyy -5 °C yläpuolella. Tämän lämmityksen ollessa riittämätön käytetään nestekaasua. (Tahvonen 2009)

Tällaisessa modernissa kasvihuoneessa kurkun satotasot ovat yli kaksinkertaiset verrattuna tekovalon yksittäiskasvihuoneeseen ja tomaatin satotasot puoli-toistakertaiset. Ryhmäkasvihuoneen kurkku tarvitsee noin 7 kWh/kg, tomaatti puolestaan 13 kWh/kg. (Tahvonen 2009)

Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen, MTT:n kehittämän jäähdytysjärjestelmän avulla on mahdollista käyttää suljettua kiertoa. Tämä järjestelmä yhdistettynä jatkuvasti kehittyvään lannoitustekniikkaan ja kasteluun, voi kasvattaa satotasot pelkästään jäähdytysjärjestelmän osalta vielä 10-20 % riippuen kasvilajista ja lannoitustekniikan osalta 5-10 %. Käyttäen edellisiä prosenttilukuja voidaan arvioida kurkun sadoksi 240 kg/m² ja tomaatin 110 kg/m². Laskettaessa jäähdytysjärjestelmässä tulevia energiavirtoja vuodessa saadaan tuloksena: aurinkoenergiaa noin 700 kWh/m², lämmitys noin 100 kWh/m² ja valaistus noin 1100 kWh/m². Puolestaan poistuvat energiavirrat: jäähdytys 500 kWh/m², kasvien haihdunta veteen 700 kWh/m² ja johtuminen seinistä ja katosta 800 kWh/m². Tämä jäähdytysenergia sidotaan veteen, joka haihtuu ulkona taivaalle. Jäähdytysenergiaa voitaisiin ottaa talteen esimerkiksi lämpöpumppujen avulla. Tällöin energian käyttö voisi pudota 7:stä 4:aan

kWh/m². (Tahtonen 2009) Taulukossa 1 on Tahvosen tekemästä artikkelista ”Nykyaikainen kasvihuone ja energiatehokas sadon tuotto”.

Taulukko 1 Eri kasvihuoneviljelytekniikoiden sadot ja energiatehokkuus vuodessa Suomessa (Tahvonen 2009)

Viljelytekniikka	Kurkku kg/m ²	Kurkku kWh/kg	Tomaatti kg/m ²	Tomaatti kWh/kg
Luonnonvalotuotanto yksittäiskasvihuoneessa	40	18	30	23
Tekovalotuotanto yksittäiskasvihuoneessa	80	13	60	17
Tekovalotuotanto ryhmäkasvihuoneessa	180	7	90	13
Tulevaisuuden tekovalotuotanto ryhmäkasvihuoneessa, jossa uusin jäähdytys- ja lannoitustekniikka	240	5	110	12
Tulevaisuuden energiaa tuottava kasvihuone, eli energian talteenotto	240	4	110	9

Taulukosta voidaan päätellä, että energiatehokkuus on parantunut 1990-luvun tekovalon yksittäiskasvihuoneista kurkun osalta noin 46 % ja tomaatin noin 24 %. Verrattaessa luonnonvalontuotannon yksittäiskasvihuoneisiin kurkun energiatehokkuus on noin 61 % ja tomaatin noin 43 % parempi ryhmäkasvihuoneissa.

6.2 Pisaraverhojäähdytysjärjestelmä

Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen, MTT:n kehittämä jäähdytysjärjestelmä mahdollistaa suljetun kierron kasvihuoneen. Järjestelmässä aurinгон tuoman valon ja kasvihuoneen sisäisen valaistuksen ylimääräinen lämpö sekä kasvien haihduttama kosteus johdetaan pisaraverhon avulla pois kasvihuoneesta. Veden sisältämä ylijäämälämpö ja kosteus suodatetaan, minkä jälkeen vesi palautetaan takaisin kasvihuoneeseen. Jäähdytysjärjestelmä toimii siis kierrätettävällä vedellä. (Riekkinen 2009, 3; Biolan Oy)

Jäähdytysjärjestelmän ilmastohallinta perustuu kasvihuoneeseen rakennettavaan integroituun suutinputkistoon ja pisaranerottimeen. Järjestelmän pisarat on tarkasti mitoitettu. Niistä syntyvä pisaraverho synnyttää voimakkaan ilma-virtauksen kasvihuoneen sisällä, mikä jäähdyttää kasvihuoneen ilmaa. Perinteiseen kasvihuoneeseen verrattuna suljetussa kasvihuoneessa ei tarvita lisäpuhaltimia. Pisaraverhon muodostama avoin lämmönvaihdin toimii 50–100 tehokertoimella. Tämä tarkoittaa, että yhden kilowatin sähköteholla pystytään tuottamaan sata kilowattia jäähdytystehoa. Pisaraverhon alapuolella oleva pi-

saranerotinyksikkö erottelee ilmavirtauksen ja vesipisarat erilleen. Vesi kierätetään kuten edellä on mainittu. (Riekkinen 2009, 3-4; Biolan Oy)

Sisäisen ilmavirran lisäksi suljetussa kasvihuoneessa tuuletusluukut pidetään kiinni, jolloin jäähdytysjärjestelmän avulla saadaan tasainen ja hallittu lämpötila. Lämpötilaa voidaan säätää automaattisesti tehokkaalla ilmastointijärjestelmällä tai pisaraverholla. Näin saavutetaan optimaaliset olosuhteet sadontuotannon kannalta. Lämpötilan integroinnilla voidaan tutkimusten mukaan saavuttaa säästöjä energian kulutuksessa noin 10–15 %. Mukautettaessa kasvihuoneen ilmasto kasvien tarpeisiin siitä käytetään nimitystä dynaaminen ilmastohallinta. (Riekkinen 2009, 3; Biolan Oy)

Suljetussa kasvihuoneessa pystytään kontrolloimaan lämmön ja kosteuden lisäksi hiilidioksidin pitoisuutta ilmassa. Nostettaessa hiilidioksidin pitoisuus normaalista 340 ppm:stä 600-1 000 ppm:ään, saavutetaan monia hyötyjä. Hiilidioksidin lisäyksen on todettu parantavan muun muassa satotasoa normaalista ja nopeuttavan sitä. Hiilidioksidi lisää kasvien vastustuskykyä, fotosynteesinopeutta ja yhteytystuotetarjontaa. Suljetussa kasvihuoneessa hiilidioksidia sisältävä ilma pystytään kierrättämään pisaraverholla, jolloin sitä voidaan käyttää optimaalisesti kasvien kasvun tehostamiseen. Avoimessa kasvihuoneessa ilma pääsee karkaamaan tuuletusaukkojen kautta eikä voida saavuttaa kasveille ihanteellisia olosuhteita. (Riekkinen 2009, 4; Biolan Oy)

Tämän perusteella voidaan sanoa, että MTT:n kehittämä jäähdytysjärjestelmä on ympäristöystävällinen ja tehokas ja sillä voidaan hoitaa kasvihuoneen ilmastoa juuri kasveille optimaalisella tasolla. Järjestelmä mahdollistaa suljetun kierron kasvihuoneen. Tästä järjestelmästä on kaupallinen sovellus, jonka on patentoinut Biolan Oy:n tytäryritys Novarbo Oy. MTT:n ja ammattiviljelijöiden mukaan Novarbo-järjestelmällä voidaan kasvihuonevihannesten satotasoa nostaa 10–40 prosenttia kasvusta riippuen. (Riekkinen 2009, 8; Biolan Oy; Novarbo Oy)

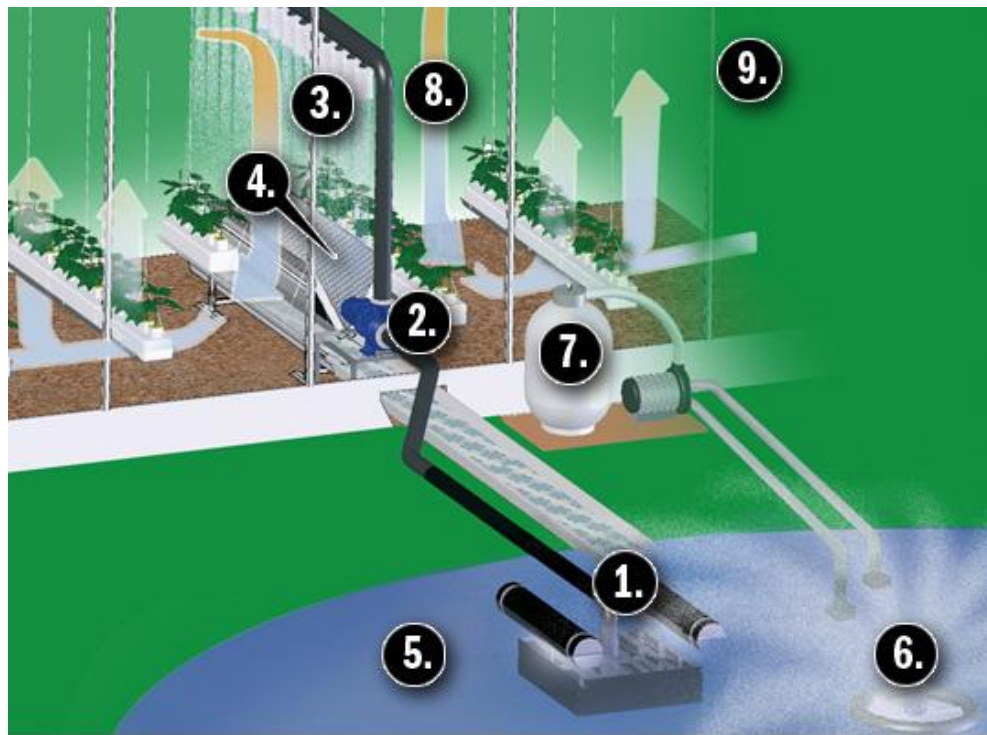
Novarbo-järjestelmä voitti vuonna 2009 Euroopan ympäristöpalkinnon yrityksille –kilpailun kansallisen prosessisarjan. Tämän johdosta ympäristöministeri Paula Lehtomäki ojensi Biolanin edustajille palkinnon 25.11.2009 Ympäristöyritysten liiton seminaarissa Helsingissä. (Biolan Oy; Novarbo Oy)

Kansallisen prosessisarjan voittajana Novarbo-järjestelmä osallistui Euroopan laajuiseen ympäristöpalkintokilpailuun vuonna 2010. Kilpailuun osallistuvat yritykset ovat edelläkävijöitä ympäristöystävällisissä prosesseissa, tuotteissa, toiminnoissa ja kansainvälisessä yhteistyössä. Tämän kilpailun yhtenä tarkoituksena on nostaa valokiilaan yrityksiä, jotka asettavat ison painokertoimen kestävä kehityksen periaatteille. (Biolan Oy; Novarbo Oy)

Kuvassa 9 on MTT:n kehittämästä pisaraverhosta selventävä kuva. Siinä näkyy pisaraverhon sijoittuminen kasvihuoneessa ja pisaranerotin. Kuvassa 10 on Novarbo-järjestelmän toimintaperiaate, jonka numeroidut selitykset esitetään kuvien jälkeisellä sivulla.



Kuva 9 Novarbo-järjestelmän pisaraverhosta (www.novarbo.fi)



Kuva 10 Novarbo Oy:n pisaraverhojärjestelmän toimintaperiaate (www.novarbo.fi)

Kuvassa 10

1. Pohjaventtiili. Altaan pinnalla kelluva venttiili, jonka ympärillä pintaroskat keräävä esisuodatin.
2. Pumppausyksikkö. Yksikkö imee altaasta imuputkiston kautta pisaraverhoon tarvittavan jäähdytysveden. Pumppu mitoitetaan pisaraverhojärjestelmän pituuden mukaan.
3. Pisaraverho. Erikoissuuttimin varustettu pisaraverho sitoo itseensä tehokkaasti lämpöä ja kosteutta.
4. Pisaraerotinyksikkö kerää pisarat yhteen ja erottaa veden ja ilmavirtauksen toisistaan.
5. Jäähdytysallas. Vesi palautuu takaisin jäähdytysjärjestelmään keruujärjestelmän kautta. Altaan vesimäärä 300-400 m³ / 1000 m² kasvihuoneen kasvatuspinta-alaa.
6. Ulkojäähdytyksessä vesi jäähdytetään altaassa allasjäähdyttimillä, joiden lukumäärä määräytyy altaan koon ja vesimäärän mukaan. Toimii itsenäisesti säädetyn lämpötilan mukaan.
7. Suodatuslaitteiston tarkoituksena on pitää allasvesi puhtaana. Puhdistuksessa voidaan käyttää kemiallista desinfiointia.

8. Ilmavirtaus syntyy pisaraverhon seurauksena, mikä jäädyttää kasvihuoneen ilmaa.
9. Kasvihuoneen automatiikka ohjaa pisaraverhojärjestelmää. Laitteisto voidaan liittää eri valmistajien kasvihuoneautomaattijärjestelmiin.

(www.novarbo.fi)

6.3 Valaistuksen vaikutus kasvihuoneviljelyssä

Vuonna 2008 kasvihuoneiden energiankulutuksesta noin 27 % kului valotukseen. Tomaatin tuotantokustannuksista noin neljäsosa on peräisin tekovalaistukseen suunnatusta sähköenergiasta, kun taas kurkulla tekovalaistusaste on noin kolmannes. (Riekkinen 2009, 4; Anderson 2010, 7.)

Yleisesti kasvihuoneissa käytetään kiinteää valaistusta, jonka ongelmana on alempana olevien kasvien tai lehtien varjoon jääminen. Tällöin kasvit eivät kykene hyödyntämään kaikkea tuotettua valoa täysin. Tämän ongelman ratkaisemiseksi on kehitetty menetelmiä, joissa kasveja tai valoja liikutellaan luonnollisen valon kiertokulun tapaisesti. Myös valojen sijoittaminen kasvihuoneen katosta lattianrajaan on mahdollista.

MTT on kehittänyt välivalotustekniikkaa, jossa kasvihuoneessa käytettävästä tekovalaistuksesta osa sijoitetaan kasvuston keskelle. Kasveille annetaan valoa tavalliseen tapaan yläpuolelta, minkä lisäksi sivulta roikkuvasta lampusta. MTT tutki välivalotustekniikan vaikutuksia kurkun satoon ja laatuun. Tutkimusten mukaan tekniikka paransi kurkkusadon määrää ja laatua keväällä ja talvella. Kesällä tekniikalla ei nähty olevan vaikutusta suljetussa kasvihuoneessa. (Riekkinen 2009, 6.)

Tulevaisuuden kasvihuoneessa valaistusvastuun saattaa kantaa kiinteän valon sijasta valoa emittoiva diodi, LED (light emitting diode). LED-valotustekniikka on vasta koeasteella MTT:n tutkimuksissa. On todettu, että valon spektristä sininen ja punainen valo ovat tärkeimmät kasvin kasvamisen kannalta, jolloin LED-valojen käytössä kasvihuoneissa tullaan näkyvän valon painotukset kohdistamaan edellä mainittuihin väreihin. Tällöin voidaan luoda valo, jossa kasvit yhteyttävät parhaiten. Tulevaisuudessa merkitsevämpi tekijä LED-lamppujen suurelle yleistymiselle on niiden energiankulutus. Ne kuluttavat sähköenergiaa alle puolet vähemmän kuin tavallinen hehkulamppu. On muistettava, että energiankulutus on yksi merkitsevistä tekijöistä kasvihuone-tuotannon kannattavuudelle. (Rantanen 2005)

Suljetussa kasvihuoneessa on enemmän potentiaalia saavuttaa tekovalon optimaaliset tasovaatimukset kuin perinteisessä kasvihuoneessa, kun otetaan huomioon kasvihuoneen muut tekniikat ja tekniikan kehittyminen. (Riekkinen 2009, 4.)

Kasvihuoneissa tuotannon sadon lisäämiseksi, laadukkaamman tuotteen saamiseksi ja pidemmän kasvukauden saavuttamiseksi käytetään tekovalaistusta. Kasvihuoneeseen tulevan luonnollisen valon säteily voidaan mitata, minkä jälkeen voidaan säätää tekovalaistusta tarpeen mukaan. On huomioitava, että tekovalojen lisääminen nostaa kasvihuoneen lämpötilaa, minkä seurauksena ilmanvaihdon tarve kasvaa. Lisääntynyt ilmanvaihto puolestaan pienentää kasvihuoneen sisällä olevan hiilidioksidin pitoisuutta. Tällöin vaaditaan lisää hiilidioksidia, jotta pystytään pitämään sen pitoisuus halutulla tasolla, esimerkiksi 800 ppm. Kuitenkin tiedostettaessa luonnon valon määrä ja muutettaessa tekovalon määrä optimiksi säästetään kasvihuoneen sähkökustannuksissa. (Riekkinen 2009, 5; Anderson 2010, 11.) Energiankulutuksen ollessa yksi merkitsevimmistä tekijöistä kasvihuoneen kannattavuudelle tämä on kannattava menetelmä, vaikkakin sen johdosta joudutaan tekemään pieni lisäys hiilidioksidikustannuksiin.

Ympäri vuorokautisessa viljelyssä tehokas valaistus on merkittävässä osassa, jotta viljely ilman päivänvaloa on taloudellisesti mahdollista. Kasvit tarvitsevat kaikkia luonnonvalon värejä. Erityisesti oranssi-punainen valo on tärkeä kasvihuoneviljelyssä. Toinen tärkeä spektrin väreistä on sininen. Oranssi-punaisessa valossa (aallonpituus 590–700 nm) kasvien fotosynteesi on tehokainta. Tutkimustulosten mukaan sininen valo tekee kasveista tiiviitä. Punainen valo puolestaan kasvattaa kasvin pituutta. Jos taas punaista valoa käytetään liikaa ja sinistä valoa (aallonpituus 450–490 nm) liian vähän, se aiheuttaa lehtien kellastumista ja liiallista pituuskasvua. Tehokkaassa valaistuksessa kasveille annetaan mahdollisimman paljon oranssi-punaista valoa ja vain kasvien kehityksen vaatima määrä sinistä valoa. (Riekkinen 2009, 5; Anderson 2010, 8-9.)

Esimerkiksi salaatin viljely ilman päivänvaloa on mahdollista, koska ne kasvavat nopeasti. Kun tunnetaan tarkka kasvuaikataulu, ne selviävät vähäisellä valolla. Samoin tarkat vaatimukset kosteudesta ja lämpötilasta tulee tuntea. Salaatin kasvuaikataulussa taimikasvatus kestää kolme viikkoa, minkä jälkeen siitä kasvatetaan myyntikelpoista tuotetta neljä viikkoa. Salaatin markkina-arvo on laskettu osana salaatin katelaskelmia.

6.4 Kastelumenetelmät ja suljettu kasteluveden kierto

Kurkku- ja tomaattiviljelyssä käytetään kahta kastelumenetelmää: tippu- ja tihkukastelua. Tihkukastelu on yleisessä käytössä avomaan viljelyssä, kun taas tippukastelua hyödynnetään kasvihuoneissa. Tippukastelussa (drip etrigation) kasvin taimeen johdetaan kasteluputki, josta kasvi saa tarvitsemansa veden. Vesi valuu läpi kasvualustan, josta kasville hyödyntämätön osa tippuu pois. Tällaista kastelutapaa kutsutaan ylikasteluksi. Ylikasteltavan veden määrä on 20-30 % kasteluputken kautta annetusta veden määrästä. (Äystö & Rahlola 2004, 9.)

Salaatin viljelyyn käytetään myös kouruviljelyä. Kouruviljelyssä ravinneliuos valuu hitaasti kaltevaa kourua pitkin, jonka varrella salaattit ovat. Salaatti saa tarvitsemansa ravinteet juuriensa avulla kourusta. Kouruviljelyssä ravinneliuoksen on oltava vesiliukoisessa muodossa, jotta se on salaatin hyödynnettävissä ja se ei tuki kourujärjestelmää. Ravinneliukseen lisättävien ravinteiden määrä on riippuvainen raakaveden ravinnesisällöstä. Esimerkiksi Kekkilä Oy:n suositusten mukaan raakaveden ravinteet ja hoitolannoitus ravinteet on esitetty taulukossa 2

Taulukosta voidaan päätellä, että ravinneliuksessa on vain muutamia valtaravinteita. Kaliumin osuus ravinneliuksessa on huomattavan merkittävä sen ollessa lähes puolet koko liuoksen pitoisuudesta. Ainoastaan typpi ja kalsium ylittävät 10 % koko ravinneliuoksen pitoisuuksista. Typeä on puolet enemmän kuin kalsiumia. Typpi kiihdyttää lehtien kasvua ja on kasvien rajoittava tekijä. Kalium puolestaan vaikuttaa hedelmäsatoon ja fosfori vaikuttaa juurten kasvuun. (Secher 2006, 59.)

Kekkilä Oy:n mukaan ravinneliuoksen johtokyky pidetään 1,4 ja 1,8 millisiemens senttimetriä kohden (mS/cm) ja pH 5,5-6,0 välillä, eli hiukan happamana, mikä on kasveille suotuisa.

Taulukko 2 Ravinneliuoksen pitoisuudet (Kekkilä Oy)

Ravinne	Pitoisuus mg/l	Pitoisuus %
Kalium (K)	270	45,1
Typpi (N)	140	23,4
Kalsium (Ca)	70	11,7
Fosfori (P)	50	8,4
Magnesium (Mg)	35	5,8
Rikki (S)	30	5,0
Rauta (Fe)	2	0,33
Mangaani (Mn)	1	0,17
Boori (B)	0,3	0,05
Sinkki (Zn)	0,2	0,03
Kupari (Cu)	0,1	0,02
Molybdeeni (Mo)	0,02	0,003
Koboltti (Co)	0,01	0,002

Kouruviljelyssä kasteluveden kierrätys on mahdollista, toiselta nimeltään suljettu kasteluveden kierto. Kasteluvesi kerätään säiliöihin, joista se ohjataan takaisin puhtaan kasteluveden mukana salaattien käyttöön. Puutarhoilla kasteluveden kierrätys on automatisoitu, johon kuuluu jatkuva lannoitus. Siinä veden ravinnepitoisuutta seurataan ja lisätään puuttuvat määrät ravinteita. Ongelmaksi muodostuu kierrätetyn veden järjestelmässä se, että ajan kuluessa siihen kertyy haitallinen määrä suoloja kuten klooria ja natriumia. Tämän ongelman seurauksena säiliöt tyhjennetään säännöllisin väliajoin. (Äystö & Rahtola 2004, 10.)

Kierrätettävällä kasteluveden järjestelmällä on muitakin hyötyjä. Kierrättämällä säästetään vettä ja ravinteita. On todettu, että suljetussa kasteluveden kierrossa ravinteita käytetään useita kymmeniä prosentteja vähemmän verrattuna järjestelmään, jossa vettä ei kierrätetä. Suljetulla kierrolla voidaan vaikuttaa myös kasvihuoneen ilman kosteuteen. Veden kiertäessä putkistoissa se ei pääse lattialle ja sieltä kohottamaan kasvihuoneen kosteutta tai kasvien tautiriskiä. (Äystö & Rahtola 2004, 11-12.)

Kurkku- ja tomaattiviljelmillä on harkittava tarkoin kierrätettävän kasteluvesijärjestelmän hankkimista. Uudelleenkäytettävässä vedessä on vaarana kasvitautien ja tuhoeliöiden leviäminen vihannesten juuriston kautta. Kurkku ja tomaatti ovat erityisen herkkiä kasvitaudeille ja tuhoeliöille, erityisesti juu-

ristotaudeille. Tauti- ja tuholaisriskiä voidaan vähentää vaihtamalla suljetun kierron vesi uuteen riittävän usein tai puhdistamalla kasteluvettä monilla erilaisilla menetelmillä. (Äystö & Rahtola 2004, 15.)

Inaktiivisia kasvualustoja ovat kivivilla ja perliitti, kun taas orgaanisena kasvualustana on turve. Erityisesti vaalean kasvuturpeen on todettu olevan hyvä ja turvallinen vaihtoehto pitkälle automatisoidussa kasvihuoneessa. Turpeen hyviin ominaisuuksiin kuuluu tasalaatuisuus, vedenpidätyskyky ja huokoisuus. (Äystö & Rahtola 2004; Riekkinen 2009, 18.)

7 ENERGIA- JA JÄTEVIRRAT

7.1 Energiavirrat

Kasvihuoneen energia koostuu kolmesta asiasta: auringon säteilystä, sähköenergian tuottamasta valosta ja lämmityksestä. Ympärivuotisessa viljelyssä noin puolet energiasta on lähtöisin kasvihuonevihannesten valotukseen tarkoitettuista lampuista. Loppuosa on sitten auringon säteilyä ja lämmitystä. Nykyään Suomessa lämmitystä tarvitaan ainoastaan talvella. Lämmityksen määrä on kuitenkin pieni, koska kasvien valotukseen käytetyistä lampuista syntyy paljon lämpöenergiaa. Hehkulampuista ja suurpainenatriumvalaisimista syntyvä lämpöenergia vähentää sähköenergialla tuotettua lämmitystä. Hehkulam- pun tai suurpainenatriumvalaisimen energiasta suuri osa muuttuu heti infra- punasäteilyksi tai muuksi häviöksi, minkä voidaan olettaa muuttuvan lämpö- energiaksi. Tämä tarkoittaa, että menetetty valoteho kasvien kasvamiseen tar- koitetusta energiasta joudutaan korvaamaan lisäsähköenergialla. Tämän lisäk- si 70 % kasvin saamasta näkyvän valon säteilystä muuttuu kasveissa lämpö- energiaksi. Kun summataan nämä tekijät, voidaan sanoa, että jopa 93 % va- laistustehosta muuttuu suoraan ja välillisesti lämpöenergiaksi. (Äystö & Rah- tola 2004, 72; Hiltunen, Ahvenharju, Hagström & Vanhanen 2005, 4; Tahvo- nen 2010, 4.)

Suljetussa kasvihuoneessa sähköenergiaa kuluttaa valotuksen ja lämmityksen lisäksi pumput. Avoimessa kasvihuoneessa sähköä vievät edellisten lisäksi puhaltimet. (Hiltunen, ym. 2005, 4.)

Kaikki kasvihuoneessa oleva energia, joka on tullut joko auringosta tai lam- puista, täytyy myös poistua kasvihuoneesta. Tästä tulevasta energiasta suurin osa on sitoutunut kasvin veden haihduntaan, joka sitten poistuu kasvihuonees- ta tiivistymällä kasvihuoneen katteisiin. Tarkemmin sanoen energia on läm- pöenergiaa, joka on sitoutuneena vesihöyryyn ja ilmaan. Johtuminen katteiden kautta on yksi poistumistie kasvihuoneesta. Se on huomattava, koska tutki- musten mukaan sen osuus on noin kolmannes kokonaisenergiasta. (Tahvonon 2010, 4.)

Voidaan sanoa, että kasvihuoneessa olevalla energialla on monia keinoja pois- tua kasvihuoneesta. Suljetussa kasvihuoneessa MTT:n kehittämällä pisaraver- holla saadaan hallitusti poistettua energiaa, joka voidaan hyödyntää.

7.2 Energiansäästömahdollisuuksia

Keinoja kasvihuoneen saamiseksi energiasäästävämmäksi on monia, kuten varjostus ja lämpöverhojen käyttö. Lämpöverhoja voidaan kutsua myös ener- giaverhoiksi. Suljetussa kasvihuoneessa on mahdollista käyttää dynaamista

kasvuolosuhteiden säätämistä, jossa kasvihuoneen sisäistä ilman hiilidioksidipitoisuutta, lämpötilaa ja valotusta voidaan säätää fotosynteesitehon mukaan. Pelkästään lämpötilan integroinnilla voidaan tutkimusten mukaan saavuttaa säästöjä energian kulutuksessa noin 10–15 %. (Novarbo Oy)

Motiva Oy:n tekemässä katselmuksessa määritettiin kasvihuoneen energiankäytön tehostamismahdollisuuksia. Säästötoimenpiteitä havaittiin kasvihuoneen joka osa-alueella. Taulukossa 3 toimenpiteissä investoitavat kustannukset saadaan kohtalaisen lyhyellä aikavälillä takaisin laskettaessa takaisinmaksujan menetelmällä. Taulukosta 4 löytyy Motiva Oy:n tulokset kasvihuoneissa olevista energiansäästämismahdollisuuksista. (Kasvihuoneviljelijän energia- ja ilmasto-opas 2005, 6-7.) Taulukossa 5 on tarkemmin ja yksityiskohtaisesti esitetty kasvihuonetuotannossa mahdollisia energiansäästötoimenpiteitä. (Äystö & Rahtola 2004, 77-82.)

Taulukko 3 Energiakatselmuksen tuloksia (Kasvihuoneviljelijän energia- ja ilmasto-opas 2005, 6.)

Toimenpiteet	Investointikustannukset yhteensä €/vuosi	Säästöt €/vuosi	Keskimääräinen takaisinmaksuaika, vuotta
Lämmöntuotannon hyötysuhteen parantaminen	51 000	19 000	2,6
Pumppujen ohjausmuutokset	30 200	12 000	2,5
Putkistoeristysten parantaminen	12 000	7 900	1,5
Valaistusmuutokset	12 300	7 000	1,8
Rakenteiden tiivistäminen ja eristystason parantaminen	35 000	5 700	6,1

Lyhytaikaisimmat (< 2 vuotta) säästökohteet liittyvät putkistoeristykseen ja valaistusmuutoksiin. Kohtalaisen nopealla aikataululla saadaan myös lämmöntuotannon hyötysuhdetta parannettua ja pumppujen ohjausmuutoksia. Keskimäärin takaisinmaksu aika on kaksi ja puoli vuotta.

Taulukko 4 Energiansäästämismahdollisuuksia kasvihuonetuotannossa (Kasvihuoneviljelijän energia- ja ilmasto-opas 2005, 6-7.). Jatkuu seuraavalle sivulle.

Toimenpidealue	Mahdollisia toimenpiteitä (esimerkkejä)
----------------	---

Ulkovaippa	K-arvon parannus, katemateriaalin vaihtaminen, sokkeli-halkeaminen korjaaminen
Sähköiset lämmitykset	Sähkövastusten korvaaminen lämpöpumpulla, lämpöjoh-topumppujen kesäpysäytys
Valaistus	Valaistusohjausmuutos, hämäräkytkinohjaus sisävalais-tukseen, hehkulamput PL-lampuiksi tai LED-lampuiksi, polttimoiden uusiminen säännöllisesti, valaistuksen ohja-us läsnäoloantureilla
LVI-laitteet	Pumppujen kesäpysäytys, lämpöjohtopumppujen pysäy-tysautomaattikka, putouspumppujen yösammutus
Ikkunat ja ovet	Ovien ja ikkunoiden tiivistäminen, lämpöverho
Tariffin ja jännitetasen tarkistus ja loistetehon kompensointi	Sähkötariffin vaihto, yleissähköstä tehosähköön, vara-voimakoneeseen huipuntasaus
Putki- ja säiliöeristykset	Putkistojen eristäminen, lämmityskattilan eristys
Lämmöntuotto, eli kaukolämmön sopimusteho	Lämmityskattilan puhdistus, rakennuksen lämmöntuotto omalla kattilalla/ lämpötilan pudotus, lämmöntuotannon hyötysuhteen parannus
Lauhdelämmön talteenotto	Lauhdelämmön hyödyntäminen
Lämmöntalteenottomahdollisuudet	Kattilahuoneen ja kompressorihuoneen yllilämmön hyö-dyntäminen
Käyttöveden lämpötilan alentaminen	Käyttöveden lämpötilan rajoittaminen
Käyttötottumusten muutos	Henkilökunnan energiatalousvalistus
Säädön parantaminen	Kytkenämuutokset kasvihuoneen patteriverkostossa, verkoston ja säätöryhmien perussäätö
Ilmanvaihto	Tuuletusautomaattikka, tarkoituksenmukainen käyttö
Rakenteiden tiiviystason parantami-nen	Kasvihuoneiden tiivistäminen, rakenteiden vuotokohtien tiivistäminen
Muut energiansäästömahdollisuudet	Kaasukattilan hiilidioksidin hyödyntäminen, lämmöntal-teenotto kasvihuoneisiin

Taulukon 4 mukaan kasvihuoneissa on säästömahdollisuuksia joka osa-alueella. Ulkovaipan yhdeksi parannuskeinoksi on mainittu K-arvon paranta-minen. Kateaineiden lämmönläpäisykykyä kuvataan K-arvolla. Sillä tarkoite-taan lämpömäärää (tehoa), joka siirtyy tunnissa neliömetrin alalta esimerkiksi seinän läpi, kun ulko- ja sisäilman lämpötilaero on yksi celsiusaste. Siis mitä

pienempi K-arvo on, sitä parempi on katemateriaalin eristämiskyky. Seuraavassa on muutama esimerkki katemateriaalien K-arvoista:

- | | |
|-----------------------------|-------------|
| – 4 mm paksu | K-arvo 7 |
| – 6 mm polykarbonaattilevy | K-arvo 3,6 |
| – 8 mm polykarbonaattilevy | K-arvo 3,3 |
| – 10 mm polykarbonaattilevy | K-arvo 3,1 |
| – 16 mm polykarbonaattilevy | K-arvo 2,6. |

Taulukko 5 Yksityiskohtainen kuvaus energiansäästömahdollisuuksista kasvihuonetuotannossa (Äystö & Rahtola 2004, 77-82.). Jatkuu seuraavilla sivuilla.

Säästötoimenpide	Selitys
Lämpöenergian säästäminen	
Varjostus-/lämpöverhojen käyttö	<p>Kasvihuoneiden lämpöenergian kulutusta voidaan vähentää varjostusverhojen avulla. Yöksi aukilevitetyt verhot estävät lämpösäteilyä karkaamasta kasvihuoneen ulkopuolelle. Verhot pitävät lämmön kasvihuoneessa sekä vähentävät kasvien haihduntaa. Hollantilaisissa kokeissa on kasvihuoneiden energiankulutusta pystytty vähentämään 16 - 19 prosenttia paikallisissa ilmasto-olosuhteissa.</p> <p>Energiansäästön lisäksi aukilevitetyillä verhoilla voidaan luoda kasveille edullisemmat kasvuolosuhteet. Lämmön poistuminen kasveista säteilynä voimistuu yöaikaan. Voimakkaan lämpösäteilyn seurauksena kasvien lämpötila laskee kasvihuoneen ilman lämpötilaa alhaisemmaksi. Jos kasvien lämpötila laskee alhaisemmalle tasolle kuin mitä on ilman kastepisteen lämpötila, kasvien pinnalle kertyy kondenssivettä. Lehtien pinnalle kertyvä kosteus altistaa kasvin harmaahomeelle ja härmälle. Verhojen avulla voidaan yöaikana hallita kasvihuoneen ilmastoa huomattavasti helpommin ja kasvien lämpösäteily vähenee.</p> <p>Tanskalaiset ovat tutkineet ruukkukasvien koekasvihuoneissa kahden vaakasuoraan asennettavan varjostusverhon käyttöä. Kahden verhon oikeaoppisella käytöllä voidaan lisätä auringon säteilyn pääsyä kasvihuoneeseen. Lisääntyneen valosäteilyn lisäksi kahdella verholla on lämpöenergiaa säästävä vaikutus, sillä verhojen väliin jää ilmatila, joka toimii erinomaisena eristeenä.</p>
Seinien eristäminen	Suomessa on joillakin puutarhoilla saatu hyviä

	<p>kokemuksia pohjoisseinän eristämisestä esimerkiksi polyuretaanilevyillä. Pohjoisseinän eristämällä ei ole todettu olevan merkitystä luonnonvalon pääsyyn kasvihuoneen sisälle.</p> <p>Tanskalaiset ovat rakentaneet ruukkukasveille koekasvihuoneen, jossa lämpöenergian kulutus olisi mahdollisimman vähäinen. Suomalaisittain nähtynä uusia lämpöenergian tarvetta vähentäviä ratkaisuja ovat pohjoispään eristäminen eristelevyillä, kahden vaakasuoran, valonläpäisyn suhteen erilaisen verhon käyttö sekä lämpösäteilyä heijastavat rullaverhot kasvihuoneen päädyissä ja seinillä. Tanskalaisten mukaan hyöty energiansäästön lisäksi on se, että energiaystävällisen kasvihuoneen sisäilmastoa on helpompi säätää. Helpompi sisäilman säädettävyyden johtuu siitä, että hyvin eristetyssä kasvihuoneessa ulkoilman vaikutukset eivät tunnu yhtä voimakkaana.</p> <p>On myös todettu, että eristepinnat ovat lämpimämpiä kuin tavallinen lasipinta eikä kondenssivettä kerry eristepinnoille. Tämä mahdollistaa hiukan suuremman kosteuspitoisuuden kasvihuoneilmastossa.</p>
Kasvihuoneolosuhde-automaatiikan kalibrointi	<p>Kasvihuoneautomaatiikkaan kytkettyjen olosuhdemittareiden toiminta on syytä ajoittain tarkistaa. Jos mittarit antavat lämpötilalukemaksi jatkuvasti yhden asteen liian suuren lukeman, tarkoittaa se hollantilaisten tutkimusten mukaan heidän ilmastossaan viiden prosentin energiakäytön lisäystä.</p>
Kattilan kunnossapito ja putkien eristys	<p>Kattilan tulipesään ja savukanavistoon kertyy ajan mittaan nokea. Tulipesän seinämiin kertynyt noki heikentää lämmön siirtymistä liekeistä tulipesän seinämiin ja siitä edelleen kattilaveteen. Heikentyneen lämmönsiirtymisen seurauksena kattilan savukaasujen lämpötila nousee ja näin arvokasta lämpöenergiaa hukkaantuu. Säännöllinen savukaasujen silmämääräinen tarkkailu piipun päästä sekä tarkempi seuranta hormistoon asennetusta mittarista antavat hyvän kuvan kattilan nokeentumisesta ja nuohouksen tarpeesta.</p> <p>Kattilahuoneen lämpöputkitusten lisäeristämällä voidaan vähentää putkistossa aiheutuvaa lämpöhävikkiä.</p> <p>Säännöllisillä öljypoltinten suuttimien vaihdolla on vaikutusta öljyn palamiseen. Hyvin toimivilla</p>

	<p>suuttimilla saadaan öljyn energia paremmin hyödynnettyä. Nyrkkisääntönä on, että öljykattilan suuttimet olisi vaihdettava kerran vuodessa.</p>
Dynaaminen kasvuolosuhteiden säätö	<p>Tanskassa on perehdytty kasvuolosuhteiden dynaamiseen säätelyyn. Dynaamisessa säätelyssä kasvihuoneilman hiilidioksidipitoisuutta säädetään kasvien fotosynteesitehon mukaisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että mitä enemmän kasvit saavat valoa, sitä korkeammalla voidaan pitää lämpötilaa ja hiilidioksiditasoa. Dynaamisessa kasvuolosuhteiden ohjauksessa sallitaan kasvihuoneilmaston lämpötiloille suuri vaihtelevuus.</p> <p>Aurinkoisella ilmalla annetaan lämpötilan nousta ja näin saadaan mahdollisimman tehokkaasti hyödynnettyä auringon valon lämmittävä vaikutus. Toisaalta pilvisellä säällä lämpötila ja hiilidioksiditaso pidetään alhaalla. Samoin päivä- ja yölämpötilan ero on suurempi kuin tavallisessa olosuhteiden ohjauksessa.</p> <p>Tanskalaisten kokeissa on onnistuttu viljelemään laadukkaita ruukkukasveja dynaamisella ohjauksella. Ruukkukasvit kasvoivat samassa ajassa ja lopputuotteen laatu oli hyvä etenkin niillä ruukkukasveilla, jotka ovat luonnostaan lauhkean ilmaston kasveja. Näitä ovat asterit, <i>Campanula</i>-kellokasvit, marketta, krysanteemi ja muratti. Lämpimän ilmaston kasvit kuten begonia, kiinanruusu ja ruusut eivät kestäneet alle +17 °C keskilämpötiloja. Liian alhainen keskilämpötila hidasti lämpimän ilmaston kasvien kasvua. Dynaamisella kasvuolosuhteiden säädöllä on Tanskassa talviaikaan säästetty energiaa parhaimmillaan 22 %.</p>
Tuulensuoja	<p>Kasvihuoneiden rakenteet eivät ole sataprosenttisen tiiviitä. Vuotoilmanvaihdon aiheuttamia häviöitä voidaan vähentää tiivistämällä tuuletusaukkojen saumoja. Paikalliset olosuhteet ja etenkin tuuliolosuhteet vaikuttavat voimakkaasti tähän häviöön. Tuulisissa olosuhteissa itse vuodon lisäksi enemmän lämpöä häviää myös johtumalla suoraan katemateriaalin läpi. Tämä johtuu siitä, että ilman virtaamisnopeus katepinnalla tehostaa konvektiivista lämmönsiirtoa. Kasvihuoneiden tuuliolosuhteita voidaan helpottaa suojaistutuksilla ja maavalleilla. Uusia kasvihuonerakennuksia suunniteltaessa olisi hyvä ottaa huomioon tulevan rakennusalueen</p>

		tuuliolosuhteet.
Sähköenergian säästäminen		
Valaistukseen sähköenergian hyödyntäminen	käytetyn tehokkaampi	<p>Uusimalla kasvihuonevalaisinten polttimot säännöllisesti pystytään valaisinten käyttämä sähköenergia hyödyntämään paremmin. Suurpainenatriumlampun valovirran alenema johtuu pääasiassa siitä, että ulkokuvun sekä purkausputken valonläpäisykyky heikkenee. Vähentynyt natriumkaasu alentaa lampun valontuottoa. Suurpainenatriumlamppujen käyttöikä on noin 8 000 tuntia.</p> <p>Valaisimien ja niiden heijastinpintojen likaantuminen arvioidaan huoneen likaantumislukuan mukaan. Jos kasvihuoneympäristön arvioidaan olevan keskimääräistä likaisempaa (alenemiskerroin 0,7), niin heijastimen likaisuudesta johtuva valaistustason alenema on 30 % vuodessa. Heijastinten säännöllisillä vaihdoilla tai pesulla on siis merkittävä vaikutus valotehon säilyttämisessä.</p>
Kiertovesipumppujen säätö		<p>Puutarhalla olisi hyvä selvittää, onko lämminvesikiertopumppuja mahdollista ohjata kasvihuoneolosuhdeautomaatiikalla. Pumppujen pysäyttäminen tulee kysymykseen sellaisina aikoina, kun lämmityksen tarvetta ei ole.</p> <p>Myös suurten kiertovesipumppujen tehon säätäminen taajuuden muuntajalla voi olla aiheellista. Kiertovesipumppuja voidaan säätää sen mukaisesti, mikä on kulloinenkin lämmitystehon tarve</p>
Säteilysummaan valottaminen	perustuva	<p>Tanskassa on perehdytty kasvuolosuhteiden dynaamiseen säätelyyn, mikä tarkoittaa sitä, että lämpötilaa ja kasvihuoneilman hiilidioksidipitoisuutta säädetään kasvien fotosynteesitehon mukaisesti. Dynaamiseen olosuhteiden säätöön liittyy ruukkukasviviljelyssä myös valituksen ohjaaminen kasvien saaman säteilysumman perusteella.</p> <p>Säteilysummaan perustuvassa valituksenohjauksessa seurataan päivän aikana kasvien saamaa luonnollista säteilyannosta ja annetaan vain tarvittaessa lisävalotusta, jotta kasvin vaatima säteilysumma saavutetaan. Tanskassa tehdyn tutkimuksen mukaan vuoden aikana kyettiin säästämään sähköä jopa 20% normaaliin valotusohjaukseen verrattuna.</p>

<p>Luonnonvalon tehokkaampi hyväksikäyttö kahden verhon tekniikalla</p>	<p>Tanskalaiset ovat selvittelleet kasvihuoneiden verhojen käyttöä ja parasta mahdollista tekniikkaa kasvien varjostamiseksi. He ovat tulleet siihen tulokseen, että paras ratkaisu energiataloudellisesti on asentaa vaakatasoon yhden verhon sijaan kaksi valonläpäisyltään erilaista verhoa. Käytettäessä yhtä verhoa on sen varjostava vaikutus monesti liian suuri. Tällöin osa luonnon valosäteilystä jää käyttämättä, mikä taas saattaa lisätä keinovalotuksen tarvetta.</p> <p>Kahden verhon systeemissä ohuempi verho (varjostavuus 15 %) vedetään auki, kun valosäteilyn teho ylittää 400 W/m² ja paksumpi verho levitetään, kun teho ylittää 500 W/m². Kahden verhon systeemillä on Tanskan huhtikuuisena kevätpäivänä saavutettu yli 2 100 Wh/m² säteilysumman lisäys.</p> <p>Ylimääräisen varjostusverhon käyttö on järkevää, mikäli valotusta ohjataan säteilysumman mukaisesti. Tällöin kahden varjostusverhon hyödyt tulevat parhaiten huomioitua ja näin pystytään säästämään sähköä.</p>
<p>Sadonkorjuu</p>	<p>Vihannesten sadonkorjuu ajoitetaan mahdollisimman viileään ajankohtaan eli aamun tunteihin. Tällöin tuotteet ovat viileämpiä kuin päivällä ja vihannesten lopulliseen jäädyttämiseen kuluu vähemmän energiaa.</p>
<p>Kylmälaitteet ja kylmiön jakaminen</p>	<p>Tuotteiden jäädytystä voidaan tehostaa. Pakotettu ilmakierron jäädytys, jossa kylmävaraston viileä ilma puhalletaan kulkemaan tuotelaatikoiden läpi, on noussut perinteisen jäädytystekniikan rinnalle. Tällöin koko tuote-erä jäähtyy tasaisesti ja nopeasti ja kylmiön energiatehokkuus kasvaa. Kylmiötilan jakaminen eri osastoihin voi olla kannattavaa sekä energiataloudellisesti että tuotteiden säilyvyyden kannalta. Juuri korjatut tuotteet voidaan jäädyttää eri tilassa kuin missä valmiiksi jäädytettyjä tuotteita säilytetään. Tällöin juuri korjatut tuotteet eivät pääse lämmittämään jo valmiiksi jäädytettyjä tuotteita. Kylmiötilan jakaminen on järkevää myös silloin, kun tuotanto on vähäistä ja jäädytettäviä tuotteita on tavanomaista vähäisempi määrä.</p>

Keinoja kasvihuoneen saamiseksi energiasäästäväisemmäksi on monia, kuten taulukko 5 osoittaa. Kasvihuoneesta karkaavaa lämpöenergiaa voidaan vähentää varjostus- ja lämpöverhoilla, eristämällä seiniä ja putkia, ottamalla käyttöön dynaaminen kasvuolosuhteiden säätö ja säätämällä muita laitteita, pyrkien

kimällä vaikuttamaan ympäröiviin tuuliolosuhteisiin suojaistutuksilla ja maavalleilla. Sähköenergiaa voidaan säästää uusimalla kasvihuonevalaisinten polttimot säännöllisesti, pumppuja säätämällä, säteilysummavalotuksella eli dynaamisella lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden säätämällä, kahden verhon tekniikalla, sadonkorjuulla, kylmävaraston pakotetulla ilmakierron jäähdytyksellä ja jakamisella.

7.3 Uusiutuvia energialähteitä ja maakaasu

Kasvihuonetuotannosta syntyvät hiilidioksidipäästöt ovat suuria, noin 500 000 tonnia vuodessa. Päästöistä 56 % aiheutuu fossiilisen polttoaineöljyn poltosta ja 15 % syntyy sähkön käytöstä. Hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää monella tavalla, merkittävimmät ovat

- energian käytön tehokkuuden parantaminen
- uusiutuvien energialähteiden hyödyntäminen
- ympäristöystävällisemmän energiatuotannon vaihtoehdot ja polttoaine
- vihreään sähköön siirtyminen
- hiilidioksidin hyödyntäminen lannoituksessa.

(Äystö & Rahtola 2004, 74-75; Hiltunen ym. 2005, 5.)

Motiva Oy:n tuloksissa on esitetty olemassa olevia tehokkuuden parantamiskeinoja. Uusiutuviin energialähteisiin kuuluvat muun muassa puupelletti, polttohake, pilke, kutterinlastu, puu, peltoenergia ja turve. Ympäristömyönteisempi fossiilinen polttoainevaihtoehto öljylle on maakaasu. (Hiltunen ym. 2005, 5.)

Nykyään uusiutuvia energialähteitä hyödyntäviä energiatuotannon vaihtoehtoja ovat muun muassa kiinteät biopolttoaineet, biokaasut, maalämpö- ja aurinkoenergiaratkaisut. Biopolttoaineita ovat erilaiset puupohjaiset hakkeet, murskeet, brikitit, pelletit ja purut. Tulevaisuudessa saatetaan ottaa käyttöön edellisten lisäksi peltokasveja kuten ruokohelppi ja energiapaju. (Hiltunen ym. 2005, 8.)

Biokaasuksi luetaan pääsääntöisesti metaani ja hiilidioksidi, mutta se sisältää myös hyvin pieniä määriä muun muassa rikkiyhdisteitä. Metaanin pitoisuus vaihtelee 40–70 % ja hiilidioksidin 30–60 % välillä. Kaatopaikkakaasun ja mädättämökaasun energiasisältö on 4-7 kWh/m³ eli kaksi kuutiota kaasua vastaa suurin piirtein yhtä kiloa polttoöljyä. Kevyen polttoöljyn energiasisältö on 43 MJ/kg ja raskaan 41 MJ/kg. Kevyt polttoöljy on siis kilowattitunneiksi muutettuna noin 12 kWh/kg ja raskas polttoöljy noin 11,4 kWh/kg (MAOL 2006, 70 & 85.)

Biokaasun hyödyntäminen kasvihuoneen energiantuotannossa on kannattavaa, jos sen saatavuus sijaitsee alle viiden kilometrin sisällä kasvihuoneesta. (Hiltunen ym. 2005, 8; Biokaasuyhdistys ry)

Maalämmöllä toimiva kasvihuone saa tarvitsemansa energian maalämpöpumpun avulla. Maalämpöjärjestelmän investointikustannukset ovat kohtalaisen korkeat, mutta käyttökustannukset ovat matalat. Maalämpöpumpun tehokkuus mitataan lämpökertoimella, joka tarkoittaa saadun lämmitystehon suhdetta käytettävään sähkötehoon. Lämpökerroin on normaalisti 2,5–3,0 välillä eli yhden kilowatin sähkötehoilla voidaan tuottaa kolme kilowattia lämpötehoa. (Hiltunen ym. 2005, 9.)

Aurinkoenergiaa voidaan vuorostaan hyödyntää aurinkokeräimien avulla. Keräimet ottavat talteen auringon säteilyenergiaa, jonka ne muuttavat lämpöenergiaksi. Tuotettua lämpöenergiaa käytetään yleensä kasvihuoneessa käytöveden lämmitykseen. Aurinkokeräimet suunnataan yleensä etelään, koska Suomessa auringon säteily on siitä ilmansuunnasta runsainta. Aurinkolämpösystemissä ylijäävä energia varastoidaan lämpöakkuun. Suomessa lämpöakkuja voidaan hyödyntää ainoastaan kesällä, pitkän aurinkoisen kauden aikana. (Hiltunen ym. 2005, 10.)

Vihreä sähkö on uusiutuvilla energiamuodoilla eli vesi- tai tuulivoimalla tuotettua sähköä. Aurinkoenergiaa voidaan tuottaa aurinkokennoilla, mutta sen hyödyntäminen sähköntuotannossa on vielä nykyään kallista ja siksi kannattamatonta. (Hiltunen ym. 2005, 10.)

Kasvihuonetuotannosta syntyviä hiilidioksidipäästöjä voidaan kierrättää hyödyntäen niitä kasvihuoneessa käytettävässä lannoitteessa, jossa hiilidioksidi on yksi lisättävistä ainesosista. (Hiltunen ym. 2005, 5.)

7.4 Jätevirrat

Kasvihuonetuotannossa syntyy monenlaisia jätteitä. Tyypillisiä jätējakeita ovat puutarha-, energia-, pahvi-, paperi-, tasolasi-, metalli- ja ongelmajäte. On huomattava, että jätettä syntyy itse viljelyn lisäksi esimerkiksi energiantuotannosta. (Äystö & Rahtola 2004, 89.)

7.4.1 Puutarhajäte

Puutarhajäte koostuu kasvijätteestä ja turvekasvualustajätteestä, mitkä ovat kompostoituvia. Kasvijätettä syntyy lajittelusta, viljelyn hoitotoimista ja viljelyn päättymisen jälkeen poistuvista kasveista. Lisäksi yrityksen viheralueiden kasvijätettä ovat ruohosilppu ja haketetut oksat. Orgaaninen kasvualusta muuttuu jätteeksi sen käyttöiän päättyessä. (Äystö & Rahtola 2004, 89.)

Puutarhajätettä syntyy ympärivuotisessa perinteisessä kasvihuoneessa suhteellisen tasaisesti läpi vuoden. Suurimmat määrät syntyvät vihannesviljelmien kohdalla kasvuston vaihtamisesta. Suljetun kierron kasvihuoneessa käytetään väli-istutus-menetelmää, jolloin sadonkorjuussa ei ole lainkaan taukoja, vaan uudet kasvit kasvavat hetken rinta rinnan vanhojen kanssa. Tällöin puutarha-

jätettä syntyy tasaisesti koko vuoden, mutta suhteellisesti hiukan enemmän kuin perinteisessä kasvihuoneessa. Esimerkiksi kurkulla tätä menetelmää käyttäen on saatu noin kaksi satokuukautta lisää. Tutkimusten mukaan 1 000 neliömetrin perinteisillä kurkkuviljelmillä syntyy 70-73 m³ kasvijätettä vuodessa. (Äystö & Rahtola 2004, 89; Tahvonen 2009) Tämän perusteella voidaan laskea, että suljetun kasvihuoneen kurkkuviljelmällä syntyy noin 12 kuutiometriä eli 17 % enemmän kasvijätettä samalla alalla kuin avoimessa kasvihuoneessa. Pinta-alan ollessa sama, perinteisessä kasvihuone tomaattiviljelmällä syntyy 20-24 m³ kasvijätettä vuodessa ja ruukkukasviviljelmillä 3-15 m³. (Äystö & Rahtola 2004, 89; Tahvonen 2009)

Puutarhajäte on ominaisuuksiltaan suhteellisen tasalaatuista, jolloin sen kompostointi on hyvä vaihtoehto hyödyntää jäte. Toisena vaihtoehtona on polttaminen, mutta siitä syntyvä tuhka saattaa olla ongelmallinen. Poltettaessa markkaa kasvijätettä, se kuluttaa enemmän energiaa kuin tuottaa. Tällöin jätteenpolttolaitoksen kattilan lämpötila laskee, minkä seurauksena syntyy haitallisia päästöjä ilmaan, esimerkiksi häkää, hiilivetyjä ja nokea. Lisäksi puutarhajäte täytyy yleensä murskata ja sekoittaa hyvin hakkeen sekaan. Tämän perusteella voidaan todeta, että puutarhajätteen hävittämisessä suositellaan ensisijaisesti kompostointia. (Äystö & Rahtola 2004, 89-90.)

7.4.2 Energiajäte

Energiajäte on polttoon kelpaavaa jätettä, mitä hyödyntävät jätteenpolttolaitokset. Kasvihuonetuotannossa syntyy energiajätteinä muovivia, puuta, paperia ja pahvia. Lisäksi kasvihuoneiden katemateriaaleina käytettävät akryyli ja polyykarbonaatti soveltuvat energiajätteiksi. (Äystö & Rahtola 2004, 90-91.)

Kasvihuonetuotannossa syntyy runsaasti polttoon kelpaavaa muovijätettä. Suurimmaksi osaksi polyeteenistä (PE) tehtyjä tuotteita, joita ovat esimerkiksi tyhjät lannoite- ja multasäkit, pöytien ja maapohjan alusmuovit, kasvualustalevyjen ympärillä oleva muovipussi, lavojen ympärillä oleva kiristekalvo ja kasvihuoneen katteena käytettävä EVA-kalvo. (Äystö & Rahtola 2004, 91.)

Tämän lisäksi muovijätetteitä syntyy polypropeenista (PP), polystyreenistä (PS), polyvinyylidikloridista (PVC) ja alumiinimuovista valmistettuja tuotteita. PP-muovia ovat esimerkiksi muoviruukut ja muovinen tarhurinlanka; ja PS-muovia esimerkiksi ruukkujen pakkauslusrat. Nämä muovit soveltuvat polttoon, mutta PVC ja alumiinimuovi eivät. PVC-muovi sisältää klooria, joka palaessaan muodostaa suolahappoa, eli kloorivetyä ja erittäin myrkyllisiä dioksiineja ja furaaneja. Jätteenpolttolaitoksilla suolahappo syövyttää hormeja ja vaurioittaa kattilaa. Dioksiinit ja furaanit saattavat päästä luontoon savukaasujen mukana. Alumiinia sisältävää muovijätettä on esimerkiksi ruukkukasvien ruukun ympärille käärittävä muovinen rondello. Alumiini saattaa aiheuttaa ongelmia jätteenpolttolaitoksilla, koska höyrystyessään ja tiivistyessään se voi syttyä palamaan ja aiheuttaa räjähdysvaaran. (Äystö & Rahtola 2004, 91-92.)

Kasvihuoneiden katemateriaaleista akryyli ja polykarbonaatti soveltuvat energiajätteiksi. Katemateriaalien hyötykäyttöä energiajätteiksi saattavat rajoittaa mahdolliset muoviin lisätyt palonestoaineet. Yleisin palonestoaine on bromi, jota käytetään erityisesti muun muassa muoveissa. Bromattuja muoveja poltettaessa syntyy savukaasuihin myrkyllisiä yhdisteitä, tästä syystä tällaisen muovin polttomahdollisuuksista on keskusteltava jätteenpolttolaitos yrittäjän kanssa. Katemateriaalin murskaaminen on toinen vaihtoehto hävittää syntynyt muovijäte. Ennen murskausta kate on katkottava, joka puolestaan aiheuttaa lisätyötä ja kustannuksia. (Äystö & Rahtola 2004, 92.)

Puujäte on yksi erinomainen energiajäte kasvihuonetuotannossa. Puujätettä ovat esimerkiksi rikkinäiset lavat ja yleisesti kaikki puuaines, jolle ei ole enää muuta hyötykäyttömahdollisuutta. On muistettava, että kyllästetty puu ei sovellu energiajätteeksi, vaan se on ongelmajätettä. (Äystö & Rahtola 2004, 92.)

Edellä mainittujen lisäksi kasvihuoneista syntyy paperi- ja pahvijätettä. Ensimmäisesti paperi- ja pahvijätteet erilliskerätään ja kierrätetään. Jos jäte on esimerkiksi kostunut tai likaantunut, niin se ei sovellu enää erilliskeräykseen, on se silloin energiajätettä.

7.4.3 Paperi- ja pahvijäte

Paperijätettä syntyy lähes ainoastaan yrityksen konttorista. Paperijätettä ovat toimiston valkoinen paperi, mainokset, ikkunalliset kirjekuoret ja lehdet. Nykyään paperijäte saatetaan jakaa vielä kahteen alalajiin: puhtaaseen valkoiseen konttoripaperiin ja sanomalehtiin ja mainoslehtisiin. Puhdasta konttoripaperia ovat kopio- ja konekirjoituspaperit sekä ATK-paperit ja –tulosteet. Syy tällaiseen jaotteluun juontaa juurensa paperitehtaista, jotka arvostavat puhdasta konttoripaperia enemmän kuin kotitalouspaperia. Määrittelyt paperijätteen mahdollisesta uudelleenjaottelusta löytyvät kunnan jätehuoltomääräyksistä. (Äystö & Rahtola 2004, 93.)

Pahvijäte on merkittävämpi jätelaji kasvihuoneyrittäjälle kuin paperijäte. Tämä johtuu siitä, että pahvijätettä syntyy paljon enemmän kuin paperijätettä. Pahvijätettä ovat aaltopahvi, kartonki, ruskeat ja värilliset pahvilaatikot, ruskea paperi ja kirjekuoret. Pahvin erilliskeräykseen ei saa laittaa märkää ja likaista pahvia, foliota tai muovia. Tällöin jäte on energiajätettä. Yritys voi halutessaan vuokrata tai ostaa pahvipaalamien tai –puristimen, jolloin pahvijätteen viemä tila varastossa pienenee huomattavasti. (Äystö & Rahtola 2004, 93.)

7.4.4 Tasolasi

Kasvihuoneissa, joissa käytetään lasikatetta, syntyy suuria määriä tasolasijätettä purettaessa. Suomen Uusioaines Oy ottaa vastaan puhdasta tasolasia. Murskatusta tasolasista valmistetaan lasivillaa tai ruskeaa pakkauslasia. Suo-

men Uusioaines Oy hyvitti vuonna 2003 tasolasista 14 €/tn. (Äystö & Rahtola 2004, 94.)

7.4.5 Metalli

Metallia syntyy suurimmaksi osaksi vasta kasvihuoneen purkamisvaiheessa. Yleensä kaikki metalliromu on rahanarvoista jätettä. Romumetalleista yksi arvokkaimmista on alumiini, jota syntyy käytännössä aina kasvihuoneesta. (Äystö & Rahtola 2004, 97-99.)

Metalliromu kannattaa kerätä erikseen, koska lajitellusta metallista saa paremman hinnan kuin metalliromusta joka on läjitetty samaan sekapeltiromukasaan. Metalliromusta saatava korvaus riippuu matkan pituudesta vastaanotopisteestä purkukohteeseen. Lisäksi romun arvoon vaikuttaa sen hetkinen markkinahinta. (Äystö & Rahtola 2004, 97-99.)

Kerättyessä erikseen pieniä ja arvokkaita määriä jätettä, on suositeltavaa koota se laivoille. Esimerkkeinä tällaisista jätteistä ovat alumiini tai kupari. Pitkien romujen kohdalla on läjittäminen parempi vaihtoehto, mistä se voidaan nostaa helposti auton lavalle esimerkiksi kouralla. (Äystö & Rahtola 2004, 97-99.)

7.4.6 Ongelmajäte

Kasvihuonetuotannossa syntyy monenlaisia ongelmajätteitä. Tavanomaisimpia ongelmajätteitä ovat käytöstä poistettavat torjunta-ainepakkaukset, loisteputket, akut, öljyt, öljysuodattimet, suurpainenatriumlamput, jäähdytinnesteet, maalit ja kyllästetty puu. (Äystö & Rahtola 2004, 95-96.)

Ongelmajätteet tulisi erottaa muista jätteistä heti alkuvaiheessa, säilyttäen niitä omassa varastopaikassaan. Ongelmajätevaraston tärkeimpänä ominaisuutena on se, että sieltä ei mahdollisen astioiden tai säiliöiden rikkoutumisen yhteydessä pääse aineita lähiympäristöön. Tämän takia ongelmajätteet on varastoitava tiiviisiin ja kestäviin astioihin. (Äystö & Rahtola 2004, 95-96.)

Paras tapa säilyttää ongelmajäte on sen alkuperäinen pakkaus. Jos alkuperäistä pakkausta ei voida enää käyttää, on ongelmajätteet lajiteltava. Karkea jako on esimerkiksi myrkyllisiin ja haitallisiin aineisiin. Toisena lajittelukriteerinä voidaan jakaa kiinteisiin, pastamaisiin ja nestemäisiin ongelmajätteisiin. Ongelmajätteiden tarkasta lajittelusta on hyötyä myös yrittäjälle. Esimerkiksi hyvänlaatuisten käytettyjen öljyjen kuljetus ja käsittely on jätteen tuottajalle ilmaista. Hyvänlaatuisen öljyn vesipitoisuus on enintään 10 % ja se ei sisällä muita aineita. (Äystö & Rahtola 2004, 95-96.)

Ongelmajätevaraston tyhjennys tulisi tehdä vähintään vuoden välein. Ongelmajätteistä on pidettävä kirjaa, josta ilmenee tullut ja lähtenyt ongelmajäte. Ongelmajätteen luovutuksesta saa siirtoasiakirjan, jota on säilytettävä kolme

vuotta. (Äystö & Rahtola 2004, 95-96.). Taulukosta 6 nähdään kasvihuoneissa käytettyjen katemateriaalien kierrätysmahdollisuudet.

Taulukko 6 Katemateriaalien kierrättäminen (Äystö & Rahtola 2004, 100.)

Purkujäte	Kierrätysmahdollisuus	Jätteen rahallinen arvo	Huomioita
Tasolasi	Käytetään uudelleen lasivillan tai ruskean pakkauslasin valmistuksessa	Hyvitys 14 €/tn Forssaan toimitettuna, Suomen Uusioaines Oy	Tasolasijäte ei saa sisältää muita epäpuhtauksia, pieni määrä kittiä ei estä kierrätystä
Polykarbonaattilevy	Kelpaa murskauksen jälkeen raaka-aineeksi muoviteollisuudelle tai energialähteeksi kattilalaitoksille	Polykarbonaattilevyn voi jättää veloitukselta murskaamolle, Muovix Oy	Mikäli polykarbonaattilevy sisältää palonestoaineita, siitä voi aiheutua haittaa energijätteitä polttavalle kattilalaitokselle
Akryylilevy	Kelpaa murskauksen jälkeen raaka-aineeksi muoviteollisuudelle tai energialähteeksi kattilalaitoksille	Akryylilevyn voi jättää veloitukselta murskaamolle, Muovix Oy	Mikäli akryylilevyn voi jättää palonestoaineita, siitä voi aiheutua haittaa energijätteitä polttavalle kattilalaitokselle
EVA-kalvo	EVA-kalvo on polyeeteeniä ja kelpaa murskauksen jälkeen raaka-aineeksi muoviteollisuudelle tai energialähteeksi kattilalaitoksille	EVA-kalvon voi jättää veloitukselta murskaamolle, Muovix Oy	

8 INVESTOINTIMENETELMÄT

8.1 Investointilaskenta eli investointien kannattavuuslaskenta

Investoinnissa on kysymys rahasta ja sen käytöstä, missä on tarkoituksena lisätulojen hankkiminen. Yritysten investoinnit ovat yleensä suuria ja siten vaativat paljon rahaa. Tällöin investoinnista saatavat tulot yritykselle kertyvät pitkällä aikavälillä. Yritysten investoinnit voivat olla aineellisia tai aineettomia hyödykkeitä. Aineellisia investointeja ovat esimerkiksi koneet ja rakennukset. Aineettomia investointeja ovat esimerkiksi tutkimukseen suunnatut rahat. Rahavarat tutkimukseen avautuvat yrityksen halusta parantaa esimerkiksi markkinatilannettaan tai tehdä tuotteistaan ympäristöystävällisempiä. Yritysten päätökset investoinneista ja niiden valmisteluista juontavat juurensa yritysten sisäisistä strategisista suunnitelmista. (Hämäläinen, 2010, 6.)

Investointilaskennassa suunnitellaan ja määritellään investointivaihtoehtoja, joiden avulla lasketaan vaihtoehtojen kannattavuuksia ja kustannuksia ja vertaillaan vaihtoehtoja keskenään. Laskentaosuudessa kustannukset luokitellaan vuosittain syntyviin kuluihin ja laskentakorkokantaan. Tuloja ovat vuosittain syntyvät tulot. Lisäksi investointilaskennan lähtötietoihin kuuluvat jäännösarvo ja pitoaika. (JOSEK Oy 2008, 5; Mäenpää 2007)

Laskentakorkokannassa on kyse korosta, joka tarkoittaa korvausta lainatun rahan saamisesta. Lainan myöntää yleensä pankki, joka vaatii tietyn prosenttiosuuden korkoa investointiin suunnatusta rahamäärästä. Korko selvittää kuinka paljon arvokkaampi investointiin lainattu raha on tänään kuin pitoajan päättyessä. Jos korko otetaan huomioon tulevaisuudessa kuluissa ja tuotoissa, siitä käytetään nimeä diskonttaaminen. (JOSEK Oy 2008, 6; Mäenpää 2007)

Yleisimmät käytössä olevat investointimenetelmät:

- nykyarvomenetelmä
- annuiteettimenetelmä
- sisäisen korkokannan menetelmä
- pääoman tuottoastemenetelmä
- takaisinmaksuajan menetelmä.

8.2 Nykyarvomenetelmä

Nykyarvomenetelmä (Net Present Value Method, NPV), tunnetaan myös nettonykyarvomenetelmänä, pääoma-arvomenetelmänä tai diskonttausmenetelmänä. Menetelmässä investoinnin tulot ja kustannukset diskonttataan nykyhetkeen laskentakorkokannan avulla. Diskonttauksen seurauksena saadaan tulot

ja menot keskenään vertailukelpoisiksi. Saadusta tulonodotuksen nykyarvosta, toiselta nimeltään nettotulosta vähennetään investoinnin kaikki kustannukset, jolloin saadaan investoinnin nettonykyarvo. Jos tämän laskentaprosessin jälkeen tulos on positiivinen, niin investointi on kannattava. Tämän jälkeen esitetään diskonttauksen tekijän määrittämiseen kaava. (JOSEK Oy 2008, 7; Hanhilahti & Mitikka 2010, 37-38; Rentola 2009, 12.)

$$v_n = \frac{1}{1 + i^n} \quad (\text{kaava 3})$$

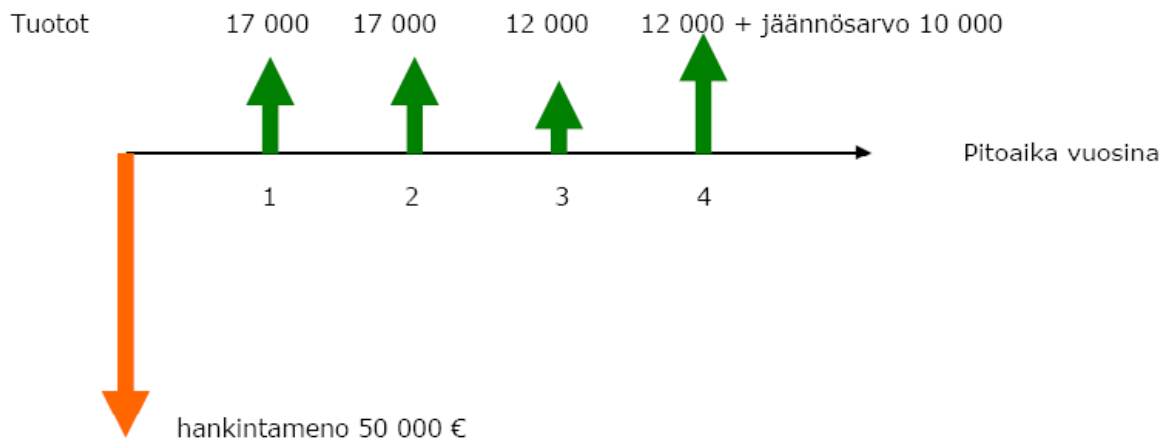
missä v_n – diskonttaustekijä
 i – korkokanta (desimaaliluku, esim. korko 7 % = 0,07)
 n – pitoaika

Esimerkki nykyarvomenetelmän käytöstä on Joensuun Kehittämisyhtiö Oy:n (JOSEK) investointilaskenta oppaasta (2008, 7)

Metalliteollisuuden koneistusalihankintaa suorittava yritys suunnittelee 50 000 euron investointia markkina-asemansa parantamiseksi. Yrityksellä on hyvät suhteet päähankkijaan, joka on kertonut halustaan lisätä hankintoja uusista tuotteista. Koska kysymyksessä on markkinoiden laajentaminen, on yrittäjä asettanut investoinnin tuottovaatimukseksi 10 %. Tuotto riittää tässä tapauksessa hänelle, koska rahoituskorko on alhainen ja investointiin on mahdollista saada TE-keskuksen avustustakin.

Esimerkin lähtöarvot ovat siis seuraavat:

- hankintahinta 50 000 euroa, toimitusaika vain 3 kuukautta
- vuotuiset nettotuotot kahtena ensimmäisenä vuotena 17 000 euroa, mutta sen jälkeen päähankkijan mukaan kysyntä lopputuotteessa muuttuu niin, että tuotot laskevat 12 000 euroon vuodessa. Onpa vielä vaurauduttava siihen, että toimitukset eivät enää viidentenä vuotena jatku.
- laskentakorkokanta 10 %
- pitoaika 4 vuotta
- jäännösarvo 10 000 euroa.



Kuva 11 Kassavirrat investoinnin pitoaikana

Laskelmista taulossa 7 nähdään, että investointi on kannattavaa. Tämä voidaan päätellä, koska diskontatut nettotuotot ovat suuremmat kuin investoinnin hankintahinta

Taulukko 7 Kassavirtojen diskonttaus

AIKA	INVESTOINTI	NETTOTUOTTO	DISKONTTAUSTEKIJÄ	NYKYARVO	YHTEENSÄ
0	- 50 000				- 50 000
1		17 000	0,9091	15 454	
2		17 000	0,8264	14 049	
3		12 000	0,7513	9 016	
4		22 000	0,6830	15 026	53 545
					+ 3 545

8.3 Annuiteettimenetelmä

Annuiteettimenetelmässä (Annuity Method) investoinnin kaikki kustannukset jaetaan pitoaikaa vastaaville vuosille yhtä suuriksi eriksi, annuiteeteiksi. Annuiteettiin kuuluu laskentakorkokannan mukainen korko ja investoinnin poisto eli lyhennys. Annuiteettimenetelmällä investointi on kannattavaa, jos laskettujen kustannusten annuiteetti on pienempi kuin tulojen annuiteetti. Tämän laskentamenetelmän heikkoutena voidaan pitää sitä, että paljon toisistaan poikkeavat vuositulot on vaikea hahmottaa. Seuraavaksi on annuiteettitekijän laskemiseksi kaava ja esimerkkitapaus. (JOSEK Oy 2008, 8; Hanhilahti & Mitikka 2010, 41.)

Annuiteettitekijä lasketaan kaavasta

$$\frac{i \cdot 1 + i^n}{1 + i^n - 1} \quad (\text{kaava 4})$$

Esimerkki on Rentolan opinnäytetyöstä (2009, 16.):

- Investointi 400 000 €
- Nettotulot 60 000 €/vuosi
- Pitoaika 10 vuotta
- Laskentakorko 10 %
- Jäännösarvo 0 €.

Investoinnin kannattavuus voidaan laskea vuositasolla määrittämällä annuiteettitekijä. Esimerkissä pitoaika $n = 10$ ja korkokanta $i = 0,1$. Siis annuiteettitekijä on

$$\frac{QI \cdot \frac{1+QI^{10}}{1+QI^{10}-1}}{1+QI^{10}-1} = 0,1628 \quad (\text{kaava 5})$$

$$60\,000 \text{ €} - 0,1628 \cdot 400\,000 \text{ €} = -5\,120 \text{ €}$$

Laskutoimituksen jälkeen voidaan todeta, että investointi ei ole kannattavaa, koska tuloksena saadaan negatiivinen lukuarvo.

8.4 Sisäisen korkokannan menetelmä

Sisäisen korkokannan menetelmässä (Internal Rate of Return Method, IRR) on paljon samankaltaisuuksia kuin nykyarvomenetelmässä. Tässä investoinnille haetaan korkokantaa, jolla investoinnista syntyvät tulot saadaan diskontattua nykyhetkeen siten, että nettonykyarvo on nolla. Tällä tavoin tarkasteltuna investoinnin tulot ja menot ovat tarkasteluhetkellä yhtä suuret. Korkokanta voidaan määrittää kokeilemalla tai taulukkolaskentaohjelman avulla. Käytännössä tietokoneen käyttäminen on välttämätöntä, koska korkokannan arvon laskeminen on erittäin vaikeaa. Sisäisen korkokannan menetelmällä saadaan tuloksena investoinnin pääoman prosentuaalinen tuotto, joka ilmoitetaan vuotuisena korkona. Investoinnin kannattavuus voidaan määrittää verrattaessa saatua tulosta yrityksen määrittelemään laskentakorkoon eli tuottavuus tavoitteeseen. Jos sisäisen korkokannan korko on suurempi kuin yrityksen, niin investointi on kannattavaa. Seuraavana on sisäisen korkokannan lauseke ja sitten esimerkkilasku. (JOSEK Oy 2008, 8; Hanhilahti & Mitikka 2010, 40.)

$$\sum_{t=1}^n \frac{S_t}{H^t} - \frac{JA_n}{H^n} = 0 \quad (\text{kaava 6})$$

missä S_t – investoinnin nettotulot vuonna t
 i – laskentakorkokanta
 JA_n – jäännösarvo pitoajan n lopussa
 H – perusinvestointi.

Talousmatematiikassa käytetään lyhempää kaavaa sisäisen korkokannan laskemiseksi, suppenevan geometrisen sarjan summakaavaa. Siinä on johdettu jälkeinpäin suoritettujen jaksollisten maksujen nykyarvo. Suppenevan geometrisen sarjan summakaava on seuraava:

$$\frac{1+i^n-1}{i(1+i)^n} \quad (\text{kaava 7})$$

Esimerkki Rentolan opinnäytetyöstä (2009, 17.):

- Hankintakustannus 400 000 €
- Vuotuiset nettotulot 60 000 €
- Pitoaika 10 vuotta
- Jäännösarvo 0 €.

Menetelmässä jaetaan investoinnin hankintakustannus vuotuisella nettotulolla

$$400\,000\text{ €} / 60\,000\text{ €} = 6,6667$$

Tämän jälkeen etsitään suppenevan geometrisen sarjan summakaavan arvoja 10 pitovuodella. Sisäisen koron ollessa 8-9 % välillä, saatu lukuarvo 6,6667 sijoittuu tälle välille. Tarkempi arvo saataisiin interpoloimalla, mutta jos tuotovaatimuksena on 10 %, niin investointi on todettava kannattamattomaksi.

8.5 Pääoman tuottoastemenetelmä

Pääoman tuottoastemenetelmää (Return on Investment, ROI) voidaan pitää yksinkertaistettuna sisäisen korkokannan menetelmänä. Menetelmässä jaetaan investoinnista saatavat keskimääräiset nettotuotot keskimääräisellä pääomalla. Tällaisella laskentamenettelyllä saadaan pääoman tuottoaste. Investoinnin keskimääräinen pääoma voidaan määrittää jakamalla pääoma ja jäännösarvon summa kahdella. Pääoman tuottoastemenetelmällä laskettua pääoman tuottoastetta verrataan yrityksen asettamaan tavoitteeseen pääoman tuottoasteeksi. Luonnollisesti voidaan sanoa, että investointi on kannattavaa, jos laskettu tuottoaste on enemmän kuin yrityksen tavoite. (JOSEK Oy 2008, 8; Hanhilahti & Mitikka 2010, 41-42.)

Lopuksi esimerkki Joensuun Seudun Kehittämisyhtiö (JOSEK) Oy:n investointilaskenta oppaasta. (2008, 8.)

Esimerkin lähtöarvot ovat seuraavat:

- Investoinnin hankintakustannus 50 000 €
- Investointikohteen jäännösarvo 5000 €
- Investointiaika 8 vuotta
- Vuotuinen tuotto 9000 €.

Vuotuinen poisto on $(50\,000 - 5\,000) / \text{pitoaika } 8 \text{ vuotta} = 5\,625 \text{ euroa}$

Vuotuinen nettotuotto poistojen jälkeen:

vuotuinen tuotto – poisto eli $9\,000 \text{ €} - 5\,625 \text{ €} = 3\,375 \text{ €}$

Investointiin on sidottu pääomaa keskimäärin:

$(\text{hankintakustannus} - \text{jäännösarvo}) / 2 = 22\,500 \text{ €}$

Keskimääräinen tuotto on siis:

$(100 \times \text{vuotuinen nettotuotto poistojen jälkeen}) / \text{keskimääräinen pääoma}$
 $= (100 \times 3\,375 \text{ €}) / 22\,500 \text{ €} = 15 \%$

Keskimääräiseksi tuotoksi kyseisessä esimerkissä pääoman tuottoastemenetelmällä saadaan 15 prosenttia.

8.6 Takaisinmaksuajan menetelmä

Takaisinmaksuajan menetelmässä (Payback Method) määritetään, missä ajassa investoinnin kaikki nettotulot ovat suuremmat kuin investointiin sijoitettu pääoma. Lyhyemmin sanottuna menetelmällä määritetään aikaväli, jolloin investointi sitoo siihen sijoitetun pääoman. Tämän määritelmän perusteella voidaan päätellä, että takaisinmaksuajan menetelmällä ei pystytä arvioimaan investoinnin kannattavuutta eikä siihen liittyviä kustannuksia kuten koron takaisinmaksua. Näin voidaan sanoa, koska menetelmä ei huomio lainkaan tapahtumia takaisinmaksuajan jälkeen. (Hanhilahti & Mitikka 2010, 44-45.)

Seuraavassa esimerkki Joensuun Seudun Kehittämisyhtiö (JOSEK) Oy:n investointilaskenta oppaasta (2008, 9.).

Esimerkin lähtöarvot:

- hankintahinta 50 000 €
- vuotuinen nettotuotto 9000 €.

Lyhyesti takaisinmaksumenetelmällä saadaan tulos jakamalla investointiin suunnatut rahat vuotuisilla nettotuloilla.

$\text{Hankintahinta } 50\,000 \text{ €} / \text{vuotuinen nettotuotto } 9000 \text{ €} = n. 5,5 \text{ vuotta.}$

Esimerkkitapauksessa investointi maksaa itsensä takaisin noin viidessä ja puolessa vuodessa.

8.7 Opinnäytetyössä käytettävä investointimenetelmä

Tässä työssä käytetään annuiteettimenetelmää, koska Agropolis Oy:n teke-
mässä katelaskelmassa hyödynnetään kyseistä investointimenetelmää. Koska
se perustuu oletukseen, että vuotuiset suoritteet ovat tasasuuruisia, tulokset
voivat jossain määrin olla kyseenalaisia.

9 KUSTANNUS-SATOTASOVERTAILUUN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Tässä opinnäytetyössä kustannus-satotaso vertailu tehdään kolmelle eri kasville, jotka ovat kurkku, salaatti ja tomaatti. Agropolis Oy on tehnyt alustavan katelaskelman kasvihuonekurkulle, mitä tullaan käyttämään pohjana salaatin ja tomaatin katelaskelman tuloksen saamiseksi. Tässä opinnäytetyössä kasvihuonetuotteiden hintaan vaikuttavaa kausivaihtelua ei oteta huomioon. Tässä opinnäytetyössä satotasot määritetään kolmelle eri hehtaarikoolle: yhden, kahden ja viiden hehtaarin viljelmille.

9.1 Agropolis Oy:n katelaskelma kurkulle

Agropolis Oy:n katelaskelmassa kasvihuoneen tulot koostuvat satomäärästä, vihanneksesta saatavasta hinnasta, lämpöenergiasta, turvejätteestä ja kasvijätteestä. Kustannuksia ovat puolestaan lämpöenergia, hiilidioksidi, sähkövalo, turve, vesi, jätevesi, työkustannukset, tarvikekustannukset ja pankin laina korkoineen. Kurkun katelaskelmassa on rinnakkain neljä vertailutasoa, jotka ovat perinteinen kasvihuone, integroitu kasvihuone matalalla satotasolla, integroitu kasvihuone realistisella satotasolla ja integroitu kasvihuone optimistisella satotasolla.

Katelaskelmassa tuottojen ja kustannusten perusteet on lämpöenergian arvon osalta saatu Vapo Oy:ltä. Hiilidioksidin hinta on määritetty sen hetkisen markkina-arvon mukaan. Sähkön hinta on puolestaan kysytty Fortum Oy:ltä. Turpeen hinta on määritetty Biolan Oy:ltä saadun tiedon mukaan, johon on laskettu myös rahtikustannukset. Kasvihuoneessa käytetyn veden hinta on saatu lähimmältä vesijohtovettä jakavalta yritykseltä, Forssan Vesihuoltoliikelaitokselta. Jätevettä koskevat hinnat on määritetty Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy:n avulla. Työkustannuksia ovat henkilökunnan palkkaus. Tarvikekustannuksiin sisältyy MTT:n tutkimus puutarhayritysten tuotantokustannusten seurantamallista vuodelta 2003: vihannesten taimet, biologinen torjunta, kauppakunnostustarvikkeet, laitteisto investoinnit, jätehuolto, työvaatteet ja myyntituotteiden rahti.

Katelaskelmassa oletetaan, että optimistisella tasolla saadaan tuotettu lämpöenergia myytyä markkinoille. Muita oletuksia ovat ylijäämä turve- ja kasvijätteen meneminen veloitusetta biovoimalalle. Tämän perusteella voidaan todeta, että kasvihuonetuotannossa toimitaan Envi Grow Park – ekoteollisuuspuisto kehittämisprojektin yhden tavoitteen mukaisesti eli noudatetaan mahdollisimman pitkälle vietyä suljettua kiertoa ja sekundääriraaka-aineiden hyödyntämistä.

Laskelmassa oletetaan siirryttäessä integroidusta matala tasosta realistiselle tasolle ja samoin realistiselta tasolta optimistiselle, että sähkön määrä kasvaa

10 %, samoin käyttöveden ja jäteveden tarpeet kasvavat 10 %. Siirryttäessä satotasosta toiseen on otettava huomioon myös, että monet muutkin kustannukset kasvavat lähes yhden suhde yhteen vauhdilla. Tällaisia ovat hiilidioksidi, työkustannukset, tarvikekustannukset, kasvihuoneen investointi, lämmönvaihto, tontti. Ainoastaan tekniset tilat ja pankista lainattu raha korkoineen eroavat tästä trendistä.

Kaikissa vertailutasoissa pankin laina on laskettu 4 % korolla, ja maksuajalla 10 vuotta. Laskelmassa on eritelty lukemisen helpottamiseksi korko- ja poistokustannukset.

Integroiduissa kasvihuoneissa pääomakustannuksiin kuuluu kasvihuoneen investointi, tekniset tilat, jäähdytysjärjestelmä, lämmönvaihto, tontti ja pankin laina korkoineen. Perinteisessä kasvihuoneessa pääomakustannuksista jää pois jäähdytysjärjestelmä.

Toisin sanoen satotason kasvattaminen lisää pääomakustannuksia, työkustannuksia, energian ja raaka-aineiden tarvetta. On huomioitava, että tarvikekustannuksiin ei sisälly suoranaisesti käytettyä energian lähdettä, esimerkiksi kevyttä polttoöljyä tai nestekaasua.

9.2 Tomaatin kustannus-satotasolaskelmat

Tomaatin laskelmissa on käytetty pohjana Agropolis Oy:n tekemää kustannus-satotasolaskelmaa, jolloin kasvihuoneen tulo- ja kustannustekijät ovat samat kuin kurkun katelaskelmissa. Laskelmassa oletetaan siirryttäessä integroidulta matalalta tasosta realistiselle tasolle ja samoin realistiselta tasolta optimistiselle, että sähkön määrä kasvaa 10 %, samoin käyttöveden ja jäteveden tarpeet kasvavat 10 %.

Katelaskelmassa tuottojen ja kustannusten perusteet on lämpöenergian arvon osalta saatu Vapo Oy:ltä. Puhtaan hiilidioksidin hinta on 200 €/tn, joka on erotuksen jälkeen 80 €/tn. Integroiduissa vertailutasoissa CO₂-tarve on pienempi, koska silloin se pystytään antamaan tehokkaammin. Lisäksi laskelmissa oletetaan, että hiilidioksidi erotetaan biovoimalassa niin tehokkaasti, ettei puhtaan kaasun lisäystä tarvita. Sähkön hinta on puolestaan kysytty Kauppapuutarhaliitolta, jonka mukaan se on 8 senttiä per kilowattitunti (kWh) eli 80 euroa per megawattitunti (MWh). Tämä hinta kattaa siirron, energian ja verot. Laskelmissa oletetaan, että tomaatin viljelyssä asennusteho on 200 W/m² ja valotuksen tarve 4 000 tuntia vuodessa. Turvetta hyödynnetään levyinä, jolloin yhden hinta on 2,50 euroa ja sitä tarvitaan 0,8 levyä per neliömetri yhden vuoden aikana. Hinta on määritelty Biolan Oy:ltä saadun tiedon mukaan. Kasvihuoneessa käytetyn veden hinta ja jäteveden hinta on saatu lähimmältä vesijohtovettä jakavalta yritykseltä, Forssan Vesihuoltoliikelaitokselta. Veden hinta on 1,14 euroa kuutiota kohden ja jäteveden hinta puolestaan 1,68 euroa kuutiota kohden. Veden hintaan lisätään liittymismaksu 3 020 euroa ja vesimittarin perusmaksu 80 €/vuosi. Vesimittarin tarkastuksesta peritään liittymästä

tarkastusmaksu, mikä on kaksi kertaa kyseisen vesimittarin mittarimaksu eli tässä tapauksessa 160 €. (<http://vesihuoltolaitos.bootti.net/DowebEasyCMS/?Page=taksat>) Työkustannuksissa oletetaan yhden työntekijän hoitavan 1 000 m² alueen. Lisäksi työkustannuksiin tarvitaan työnohtohenkilöt. Tiedot on saatu Kauppapuutarhaliitosta. Tarvikekustannuksissa oletetaan, että tarvitaan kaksi istutusta vuoden aikana. Tämän lisäksi tarvikekustannuksiin sisältyy lannoitteet, kasvinsuojeluaineet, desinfiointitarvikkeet, pakkausmateriaalit, taimet ja muut tarvikkeet. Tiedot on saatu Kauppapuutarhaliitosta. Tomaatin kustannus-satotasolaskelmiin tuloihin lisätään tuotantotuki, joka on 11,40 euroa yhtä neliometriä kohti. Muuten kaikki muut tulojen ja kustannusten perusteet ovat samat kuin Agropoliksen kurkun katelaskelmassa.

Forssan Kiimassuon jätehuoltoalueen yritystonteilta peritään liittymismaksua oikeudesta liittyä vesi- ja viemäriverkostoon 0,60 e (alv 0,74e) tontin pinta-alan neliometriltä. (<http://vesihuoltolaitos.bootti.net/DowebEasyCMS/?Page=taksat>)

Kauppapuutarhaliitolta saadun tiedon mukaan tomaatin vuoden 2009 keskihinta oli 1,76 euroa. Tätä lukuarvoa on käytetty kaikilla vertailutasoilla. Saatomäärät on selvitetty MTT:n ja Kauppapuutarhaliiton avustuksella.

Liitteessä 1 on esitetty tomaatin kate II katelaskelma.

9.3 Salaatin kustannus-satotasolaskelmat

Samoin kuin tomaatin katelaskelmissa, salaatin katelaskelmissa on hyödynnetty Agropolis Oy:n tekemää kustannus-satotasolaskelmaa, jolloin kasvihuoneen tulo- ja kustannustekijät ovat samat kuin kurkun katelaskelmissa. Erona salaatin katelaskelmissa tomaatin vastaaviin ovat hiilidioksidi, tekovalo ja sen määrä ja turve. Hiilidioksidin määrä on pienempi, koska se vaikuttaa vain rehevyyteen. Lisäksi salaatin viljelyssä tekovalaistuksen asennusteho on 120 W/m² ja tarve 6 000 tuntia vuodessa eli kasvia valotetaan vuorokauden ympäri. Turve tuodaan säkeissä ja salaatti istutetaan ruukkuihin. Tällöin yhden säkin hinta on 6 euroa Kekkilältä saatujen tietojen mukaan. Tarvikekustannuksiin sisältyy ainoastaan siementen ostaminen, joka on 120 000 euroa yhtä hehtaaria kohti. Laskelmassa oletetaan siirryttäessä integroidulta matalalta tasolta realistiselle tasolle ja samoin realistiselta tasolta optimistiselle, että sähkön määrä kasvaa 10 %, samoin käyttöveden ja jäteveden tarpeet kasvavat 10 %. Salaatin kustannus-satotasolaskelmiin tuloihin lisätään tuotantotuki, joka on vuonna 2010 11,40 euroa yhtä neliometriä kohti.

Salaattia koskeva markkina-arvo on määritetty Kauppapuutarhaliiton. Saatujen tilastotietojen mukaan vuonna 2009 lehtisalaatin hinta vaihteli 46-59 sentin välillä per kappale, kun taas yhden jääsalaatin hinta vaihteli 47-65 sentin välillä. Salaatin markkina-arvo voidaan määrittää laskien näiden salaattien keskiarvo. Tulokseksi saadaan 54,25 senttiä per salaatti.

Lehtisalaatin keskiarvo: $(59+46)/2 = 52,5$ senttiä/kpl

Jääsalaatin keskiarvo: $(65+47)/2 = 56$ senttiä/kpl

Salaatin markkina-arvo: $(56+52,5)/2 = 54,25$ senttiä/kpl $\approx 0,54$ €/kpl

Kauppapuutarhaliitolta ja MTT:ltä saatujen tietojen perusteella on määritetty katelaskelmaa koskevat salaattien kappalemäärät.

Liitteessä 2 on esitetty salaatin kate II katelaskelmat.

9.4 Kurkun kustannus-satotasolaskelmat

Samoin kuin tomaatin ja salaatin katelaskelmissa kurkun katelaskelmissa on käytetty samoja tuottojen ja kustannusten perusteita. Ainoastaan kurkulla sähkövalon asennustehona käytetään 270 W/m^2 ja valotuksen tarve on 4 500-5 000 tuntia vuodessa eli päivänpituus on noin 20 tuntia vuorokaudessa. Turvelevyt vaihdetaan neljä kertaa vuodessa. Tarvikekustannukset sisältävät taimikustannukset $2,5$ tainta/ m^2 , 4 istutusta vuodessa, taimien hinta vaihtelee kaudesta riippuen $7,5 - 11$ €/kpl. Lisäksi tarvikekustannuksiin otetaan mukaan lannoitteet, kasvinsuojeluaineet, desinfiointitarvikkeet, pakkausmateriaalit ja muut tarvikkeet. Tiedot on selvitetty Kauppapuutarhaliitolta saatujen tietojen perusteella. Kurkun kustannus-satotasolaskelmiin tuloihin lisätään tuotantotuki, joka on $11,40$ euroa yhtä neliömetriä kohti. Muuten kaikki muut tulojen ja kustannusten perusteet ovat samat kuin Agropoliksen kurkun katelaskelmassa.

Kurkun markkina-hintana on määritetty Kauppapuutarhaliitolta saadun vuoden 2009 keskihinta tiedon mukaan, mikä on $1,50$ euroa. Satomäärät on määritetty Kauppapuutarhaliitolta ja MTT:ltä saatujen tietojen mukaan.

Liitteessä 3 on esitetty kurkun kate II katelaskelmat.

9.5 Kasvihuoneeseen vaadittavan pääoman määrittäminen

Integroidussa kasvihuoneessa pääomaksi voidaan laskea kustannukset kasvihuoneen rakentamiseksi, tekniset tilat järjestelmän ylläpitämiseksi, jäähdytysjärjestelmä, lämmönvaihto ja tonttivuokra. On myös huomioitava pankista otettava laina korkoineen. Perinteisessä kasvihuoneessa pääomakustannuksista jää pois jäähdytysjärjestelmä.

Tämän perusteella saadaan yhden hehtaarin perinteisen kasvihuoneen pääomakustannuksiksi $3\,756\,300$ euroa ja integroidun kasvihuoneen $4\,554\,300$ euroa. Kahden hehtaarin kokoiselle avoimelle kasvihuoneelle saadaan $7\,267\,500$ euroa ja integroidulle $8\,065\,500$ euroa. Kasvihuoneen ollessa viiden hehtaarin suuruinen perinteinen kasvihuone tulee maksamaan $16\,575\,600$ euroa ja integroitu puolestaan $17\,373\,600$ euroa.

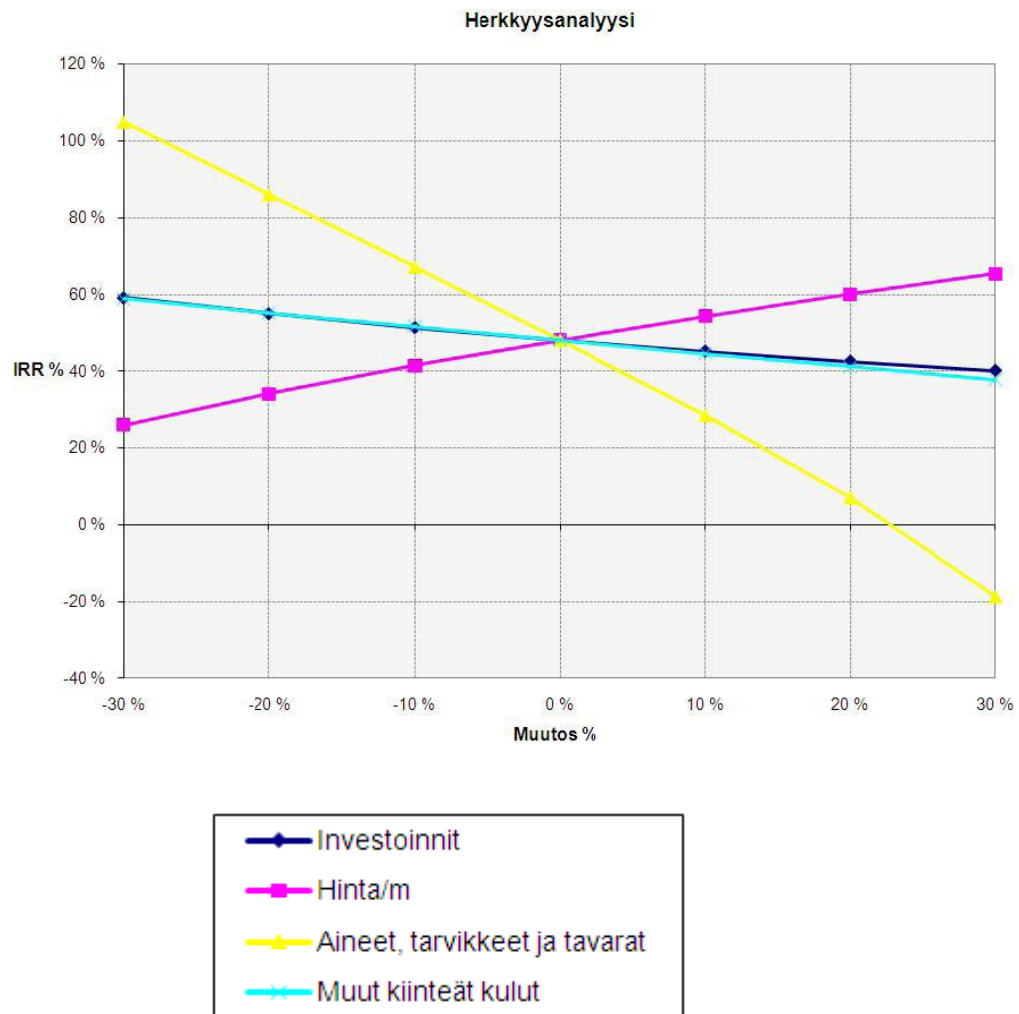
Integroidun ja perinteisen kasvihuoneen ero pääomakustannuksissa on 798 000 euroa, mikä johtuu integroiduissa kasvihuoneissa olevasta jäähdytysjärjestelmästä. Pesaraverhojäähdytysjärjestelmän osuus kasvihuoneen pääomasta on merkittävä, noin 17,5 %.

10 HERKKYYSANALYYSI

Investointilaskelmat perustuvat tiettyjen, kiinnostuksen kohteena olevien ja kyseistä investointia koskevien muuttujien arvojen tarkasteluun. Näiden parametrien arvon kehittymistä ja vaihtelua toisiinsa nähden pyritään tutkimaan, jotta eri tekijöistä rakentuvasta lopputuloksesta voitaisiin tehdä johtopäätöksiä investoinnin kannattavuudesta. Eri parametrien lähtöarvoon ja odotettuun kehitykseen pitää muistaa aina mahdollisuus virhearviosta tai muusta laskennan epätarkkuudesta. (Hanhilahti & Mitikka 2010, 50.)

Investointilaskelmiin liittyvän epävarmuuden ja riskin huomioon ottamiseksi on kehitetty erilaisia riskinhuomioimismenetelmiä. Kolme yleisintä menetelmää ovat herkkyysanalyysi, riskin huomioon ottaminen tuottovaatimuksissa ja todennäköisyysmenetelmä. Tässä opinnäytetyössä sovelletaan katelaskelmiin herkkyysanalyysiä. (Hanhilahti & Mitikka 2010, 50.)

Herkkyysanalyysi kertoo investoinnin nykyarvon herkkyyttä muutoksille tulevaisuuden tuotoissa ja kustannuksissa. Menetelmän avulla pystytään tutkimaan, miten investoinnin kannattavuus muuttuu, jos yhtä tai useampaa avaintekijää muutetaan. Epävarmuuden ja riskin huomioon ottamiseksi on tutkittava sellaiset mahdolliset arviointivirheet, jotka vaikuttaisivat investoinnin kannattavuuteen epädullisesti. Lyhyesti sanottuna on tarkoitus löytää investoinnin kannattavuudelle kriittisimmät tekijät. Herkkyysanalyysi voidaan tehdä myös jokaiselle kannattavuuteen vaikuttavalle tekijälle. Tällöin saadaan selville tekijät, jotka vaikuttavat investoinnin kannattavuuteen vahvimmin tai vähiten. Tällöin kannattavuuslaskenta voidaan kohdistaa lopputuloksen suuruuteen voimakkaimmin vaikuttaviin tekijöihin. Herkkyysanalyysi suoritetaan käytännössä laskemalla investoinnin nykyarvo erilaisilla kassavirta arvoilla. Tämän jälkeen on esitetty esimerkki investoinnin herkkyysanalyysistä graafisessa muodossa. Kuvio havainnollistaa eri muuttujien vaikutusta kokonaisinvestoinnin kannattavuuteen. Laskenta on tehty sisäisen korkokannan menetelmällä. Kuvioista 8 voidaan nähdä esimerkiksi, että hinnan noustessa 10 % nousee IRR noin 50 prosentista 55 prosenttiin eli investoinnin kannattavuus kasvaa 5 %. (Hanhilahti & Mitikka 2010, 50.)



Kuva 12 Investoinnin graafinen herkkyysanalyysi (Hanhilahti & Mitikka 2010, 51.)

Opinnäytetyössä tehtyihin katelaskelmiin sovelletaan herkkyysanalyysiä. Analyysi suoritetaan kaikille kolmelle vihanneslajille yhden hehtaarin viljelmällä annuiteettimenetelmällä. Katelaskelmille tehdään kaksi herkkyysanalyysiä, mitkä ovat toistensa ääripäitä. Toinen on niin sanottu suuret tulot ja pienet kustannukset. Edellä mainitussa muutetaan vihanneksesta saatavaa hintaa 10 % ylöspäin ja sähkön hintaa 10 % alaspäin kuten myös henkilöstökustannuksia. Henkilöstökustannuksiin sisältyy työntekijöiden ja johdon työ-
kustannukset. Lisäksi 4 % koron sijaan käytetään matalaa 2 % pankin korkoa. Herkkyysanalyysissä, jossa on pienet tulot ja suuret kustannukset, vihanneksen markkinahintaa lasketaan 10 % ja henkilöstökustannuksia ja sähkön hintaa nostetaan 10 %. Pankin korkona käytetään 6 %. Liitteissä 4-9 on esitetty skenaarioiden lopulliset kate II graafiset kaaviot, joissa tuloista on vähennetty kustannukset ja pankin laina korkoineen.

Kurkun katelaskelmissa vihanneksesta saatavan hinta vastaa tuloista 94-96 % riippuen vertailutasosta. Salaatin katelaskelmissa hinnan osuus tuloista ovat samat kuin kurkun katelaskelmissa. Tomaatin katelaskelmissa vastaavat luvut ovat 92-94 %. Tällöin vihanneksesta saatavan hinnalle tehtävä 10 % muutos riippuen skenaariosta vastaa käytännössä koko tuloja koskevasta herkkyyssanalyysistä ja voidaan hahmottaa markkinoiden hinnan vaihteluiden vaikutus kasvihuoneyrittäjän tuloihin ja katteisiin.

Katelaskelmissa herkkyyssanalyysi tehdään kustannusten osalta kolmelle suurimmalle tekijälle: sähkövalon kulutukselle, henkilöstökustannuksille ja laskentakoron. Sähkövalon kulutus on yksittäisistä kustannuksista suurin, henkilöstökustannukset toiseksi suurin ja pankin laina korkoineen kolmanneksi suurin kustannustekijä katelaskelmissa.

Kurkun laskelmissa sähkövalon osuus kokonaiskustannuksista on 46-51 %, henkilöstökustannusten osuus vaihtelee 13-19 % ja laskentakoron 16-17 % välillä riippuen vertailutasosta. Salaatille vastaavat luvut: sähkövalo 36-40 %, henkilöstökustannukset 21-27 % ja laskentakorko 26-28 %. Tomaatin katelaskelmissa sähkövalon osuus on 34-37 %, henkilöstökustannukset 19-29 % ja laskentakorko 24-26 % välillä riippuen vertailutasosta.

Tehtäessä herkkyyssanalyysi 10 % muutoksella suuntaan jos toiseen, sähkönkulutuksen vaikutus kokonaiskustannuksiin on huomattavan suuri, kurkun laskelmissa jopa 50 % ja tomaatin ja salaatin katelaskelmissa 36-37 %. Suuret tulot ja pienet kustannukset -skenaariossa sähkön kulutusta lasketaan 10 %. Jos otetaan huomioon todennäköisin kehitysaskel kasvihuoneiden valaistuksen saralla, niin LED-valot valloittavat kasvihuoneet. Tällöin sähkön kulutus voi jopa puolittua nykyisestä, jolloin 10 % muutos on riittämätön. Päinvastaisessa skenaariossa sähkönkulutusta lisätään 10 %, ajatellaan tekniikan kehittyvän siihen suuntaan, että valaistustehon lisäyksellä on tuotantosadolle positiivisia vaikutuksia nykyisestä tasosta.

Laskentakoron ja henkilöstökustannusten osuudet kokonaiskustannuksista eroavat toisistaan vain vähän. Palkkakustannukset tulevat lähivuosina todennäköisesti kasvamaan nykyisestä tasosta, jolloin 10 % lisäys henkilöstökustannuksiin saattaa olla todellisuutta. Suuret tulot ja pienet kustannukset -skenaariossa henkilöstökustannuksia lasketaan 10 %, tällöin ajatellaan yrityksen säästävän tai rekrytoivan osaavampiin ja tehokkaampiin työntekijöihin. Suuret tulot ja pienet kustannukset -skenaariossa laskentakorkokantaa lasketaan 2 prosenttiyksikköä 2 %:iin, tätä voidaan perustella yleisillä tämän hetkisillä viitekoroilla, jotka ovat 1-2 %:n luokkaa. Pienet tulot ja suuret kustannukset -skenaariossa laskentakorkokantaa nostetaan 2 prosenttiyksikköä 6 %:iin, jolloin voidaan hahmottaa investoinnin kannattavuuden riskit. Lisäksi nykyiset (v. 2011) matalat korot tulevat todennäköisesti jäämään taka-alalle.

Seuraavaksi suuret tulot ja pienet kustannukset -skenaario, jossa vihanneksesta saatavaa hintaa nostetaan 10 %, sähkön hintaa ja henkilöstökustannuksia 10 % alaspäin. Lisäksi laskentakorko on 2 %.

Kurkun katelaskelmissa vihanneksesta saatavan hinta vastaa tuloista 95-97 % riippuen vertailutasosta. Salaatin katelaskelmissa hinnan osuus tuloista on 95-96 % välillä. Tomaatin katelaskelmissa vastaavat luvut ovat 92-95 %.

Kurkun laskelmissa sähkövalon osuus kokonaiskustannuksista on 40-48 %, henkilöstökustannusten osuus vaihtelee 15-20 % ja laskentakoron 19-22 % välillä riippuen vertailutasosta. Salaatille vastaavat luvut: sähkövalo 35-39 %, henkilöstökustannukset 20-27 % ja laskentakorko 25-29 %. Tomaatin katelaskelmissa sähkövalon osuus on 36-40 %, henkilöstökustannukset 19-29 % ja laskentakorko 23-27 % välillä riippuen vertailutasosta.

Toisessa herkkyyssanalyysiskenaariossa pienet tulot ja suuret kustannukset, missä vihanneksen markkinahintaa lasketaan 10 % ja henkilöstökustannuksia ja sähkön hintaa nostetaan 10 %. Pankin korkona käytetään 6 %.

Kurkun katelaskelmissa vihanneksesta saatavan hinta vastaa tuloista 93-96 % riippuen vertailutasosta. Salaatin katelaskelmissa hinnan osuus tuloista on 94-96 % välillä. Tomaatin katelaskelmissa vastaavat luvut ovat 90-94 %.

Kurkun laskelmissa sähkövalon osuus kokonaiskustannuksista on 42-47 %, henkilöstökustannusten osuus vaihtelee 15-19 % ja laskentakoron 19-20 % välillä riippuen vertailutasosta. Salaatille vastaavat luvut: sähkövalo 36-40 %, henkilöstökustannukset 21-27 % ja laskentakorko 26-29 %. Tomaatin katelaskelmissa sähkövalon osuus on 37-42 %, henkilöstökustannukset 19-28 % ja laskentakorko 25-27 % välillä riippuen vertailutasosta.

Verrattaessa suuret tulot ja pienet kustannukset -skenaariota alkuperäiseen katelaskelmaan, niin vihanneksesta saatavan hinta on noussut noin 1-2 prosenttiyksikköä. Vuorostaan pienet tulot ja suuret kustannukset -skenaariossa vihanneksesta saatavan hinta on laskenut noin 1-2 prosenttiyksikköä. Tämän perusteella voidaan todeta, että 10 % muutos vaikuttaa vihanneksesta saatavaan hintaan alle 2 prosenttiyksikköä. Vihanneksesta saatava hinta riippumatta skenaariosta vastaa käytännössä koko tuloja koskevasta herkkyyssanalyysistä.

Suuret tulot ja pienet kustannukset -skenaariosta herkkyyssanalyysissä kurkun katelaskelmissa sähkövalon osuus kokonaiskustannuksista on laskenut noin 5 prosenttiyksikköä, salaatin yhden prosenttiyksikön ja tomaatin 2-3 prosenttiyksikköä. Henkilöstökustannusten ja laskentakoron osalta ei ole tapahtunut odotettua laskua, vaan niiden prosentuaaliset osuudet ovat nousseet. Odottamaton muutos voidaan selittää sähkövalon suurella osuudella kokonaiskustannuksista eli 10 % muutos vaikuttaa absoluuttisesti enemmän sähkövaloon kuin henkilöstökustannuksiin ja laskentakorkoon. Tästä johtuen henkilöstökustannusten ja laskentakoron suhteelliset prosenttiosuudet kääntyvät kasvuun. Kurkun katelaskelmissa henkilöstökustannukset ovat nousseet 1-2 prosenttiyksikköä ja laskentakorkokanta 3-4 prosenttiyksikköä. Salaatilla ja tomaatilla henkilöstökustannukset ja laskentakorko ovat pysyneet lähes samana.

Pienet tulot ja suuret kustannukset -skenaariossa sähkövalon osuus on odotamatta laskenut 4 prosenttiyksikköä kurkun katelaskelmissa. Tomaatilla viljelmällä sähkövalon osuus kokonaiskustannuksista on kasvanut 3-4 prosenttiyksikköä ja salaatilla pysynyt samana kuin alkuperäisessä katelaskelmassa. Kurkun katelaskelmissa pienet tulot ja suuret kustannukset -skenaariossa henkilöstökustannukset ovat kasvaneet odotetulla tavalla noin 2-3 prosenttiyksikköä ja laskentakorko 3 prosenttiyksikköä. Salaatissa ja tomaatissa henkilöstökustannukset ovat pysyneet samana ja laskentakorko kasvanut vain yhden prosenttiyksikön.

Herkkyysanalyysin perusteella voidaan todeta, että 10 % muutos kustannuksiin vaikuttaa katelaskelmiin tapauskohtaisesti. Yleisesti voidaan todeta, että sähkövalon muutos on 2-4 prosenttiyksikköä, vaikkakin salaatin katelaskelmissa muutosta ei juuri havaittu. Henkilöstökustannuksissa 10 % muutos suuntaan jos toiseen vaikuttaa noin 1-3 prosenttiyksiköllä. Salaatin ja tomaatin katelaskelmissa 10 % muutos ei näy juuri lainkaan, muutos on erittäin pieni, 1 prosenttiyksikön verran. Kurkun katelaskelmille tehty herkkyysanalyysi osoittaa muutoksen olevan 3 prosenttiyksikön luokkaa. Yleisesti ottaen 10 % muutos katelaskelmien kustannuksiin vaikuttaa vain vähän. Suurin muutos on nähtävissä kustannusten merkittävimmissä tekijässä energiankulutuksessa.

11 JOHTOPÄÄTÖKSET

11.1 Avoimen ja suljetun kasvihuoneen erot ja pisaraverhojähdytysjärjestelmä

Tässä työssä oli tarkoitus määrittää suljetussa kasvihuoneessa kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä. Ensimmäiseksi piti selvittää perinteisen kasvihuoneen ja uuden modernin kasvihuoneen eroavaisuudet. Suurin ero avoimessa ja suljetussa kasvihuoneessa on eristettävyys. Suljetussa pystytään kontrolloimaan suurinta viljelyteknistä ongelmaa: lämpötilaa ja hiilidioksidi- ja kosteus- pitoisuutta. Näiden lisäksi suljetussa kasvihuoneessa voidaan pitää tuuletusluukut kiinni. Tämän ansiosta saadaan tasainen ja hallittu lämpötila ja voidaan ylläpitää haluttua kosteus- ja hiilidioksidipitoisuutta. Lisäksi suljetun kierron periaatteella toimiva, MTT:n kehittämä pisaraverhojähdytysjärjestelmä toimii kierrätettävällä vedellä ja hiilidioksidia sisältävä ilma pystytään kierrättämään pisaraverholla, jolloin sitä voidaan käyttää optimaalisesti kasvien kasvun tehostamiseen. Pisaraverhon muodostama avoin lämmönvaihdin toimii 50–100 tehokertoimella. Tämän perusteella voidaan todeta, että pisaraverhojähdytysjärjestelmä on ympäristöystävällinen ja tehokas ja sillä voidaan hoitaa kasvihuoneen ilmastoa juuri kasveille optimaalisella tasolla. MTT:n kehittämällä pisaraverholla saadaan hallitusti poistettua energiaa, joka voidaan hyödyntää. Järjestelmän voisi saada vielä ympäristömyötäisemmäksi, jos siihen lisäisi ylimääräisen energian talteenoton. Tätä energiaa voitaisiin ottaa talteen esimerkiksi lämpöpumppujen avulla.

Kasvihuoneesta poistuu noin kolmannes kokonaisenergiasta johtumalla. Esimerkiksi tuulisissa olosuhteissa vuodon lisäksi lämpöä häviää johtumalla suoraan katemateriaalin läpi. Tästä syystä nykyisiä katemateriaaleja tulisi kehittää, jotta K-arvo saataisiin entistäkin pienemmäksi ja kasvihuoneen sisäinen energia paremmin hyödyksi.

11.2 Kasvihuonetuotantoon vaikuttavat tekijät

Kasvihuonetuotannon taloudellisuuteen vaikuttavat monet tekijät niin kustannusten kuin tuottojenkin puolesta. Agropolis Oy:n katelaskelmassa kasvihuoneen tulot koostuvat satomäärästä, vihanneksesta saatavasta hinnasta, lämpöenergiasta, turvejätteestä ja kasvijätteestä. Lisäksi tuloiksi voidaan laskea tuotantotuki. Kustannuksia ovat puolestaan lämpöenergia, hiilidioksidi, sähkövalo, turve, vesi, jätevesi, henkilöstökustannukset, tarvikekustannukset ja pankin laina korkoineen. Kurkun katelaskelmassa on rinnakkain neljä vertailutasoa, jotka ovat perinteinen kasvihuone, integroitu kasvihuone matalalla tasolla, integroitu kasvihuone realistisella tasolla ja integroitu kasvihuone optimistisella tasolla. Kustannus-satotasolaskelmat tehtiin yhden, kahden ja viiden hehtaarin viljelmille.

Energiankulutus on merkitsevä tekijä pääomakustannusten ja työkustannusten rinnalla kasvihuoneen kannattavuuteen vaikuttavana tekijänä. Energiankulutukseen vaikuttavat valaistus, kasvihuoneeseen pääsevän auringonvalon määrä, lämmitys (raaka-aine), ulkoiset ympäristöolosuhteet (pilvisuus, tuulisuus), eristystaso (putket, seinät, ikkunat, ovet, verhot, kattila), kastelu- ja lannoitustekniikka, katemateriaali (K-arvo), lämmöntuotanto (kattila, kompressori, lämmöntalteenottotekniikka), ilmanvaihto, dynaaminen kasvuolosuhteiden säätö (hiilidioksidi, kosteus, lämpötila) ja muiden laitteiden säätö, pysäytys ja tarkoituksenmukainen käyttö (esimerkiksi pumpput). Lisäksi esimerkiksi kattilalaitoksen ajoparametrit, hyötysuhde, kunto, säätö ja tekniikka vaikuttavat energiankulutukseen.

11.3 Kasvihuoneiden valotus ja energiatehokkuus

Kasveilla on monia keinoja saada auringosta tarvitsemansa energia, minkä avulla ne kasvattavat varttaan, lehtiään tai yhteyttävät. Fotosynteesissä ilmassa olevasta hiilidioksidista ja vedestä auringon valon läsnä ollessa syntyy kemiallisen reaktion seurauksena happia ja glukoosia. Fotosynteesinopeutta voivat rajoittaa pieni valon voimakkuus, matala lämpötila, matala hiilidioksidipitoisuus, klorofyllit tai riittämätön entsyymien aktiivisuus. Kasvien yhteyttämisen kannalta fotonien lukumäärä eli fotonivuo on merkitsevämpi kuin auringosta saatava energia. Auringon valon säteilyenergiaa kasvit absorboivat ja muuttavat sen itselleen hyödylliseksi energiaksi. On todettu, että valon spektristä sininen ja punainen valo ovat tärkeimmät kasvin kasvamisen kannalta.

Suljetussa kasvihuoneessa voidaan käyttää MTT:n kehittämää välivalotustekniikkaa ja LED-valotustekniikkaa. Välivalotustekniikassa kasveille annetaan tekovaloa sivulta roikkuvasta lampusta. Suljetussa kasvihuoneessa luultavasti tullaan käyttämään enemmän kyseistä tekniikkaa. Tekniikan hyödyiksi voidaan luetella ylhäältä tulevasta valosta jäävän varjon minimointi, koska kasvien valotus tulee kasvin sivuilta eikä ainoastaan yläpuolelta. Kasvien kasvamisen kannalta tärkeimmät näkyvän valon väreistä ovat sininen ja punainen. LED-valojen käytössä kasvihuoneissa voidaan valon painotukset kohdistaa edellä mainittuihin väreihin. Tällöin voidaan luoda valo, jossa kasvit yhteyttävät parhaiten. Tulevaisuudessa merkitsevämpi tekijä LED-lamppujen suu- relle yleistymiselle on niiden energiankulutus. Ne kuluttavat sähköenergiaa alle puolet vähemmän kuin tavallinen hehkulamppu. On muistettava, että energiankulutus on yksi merkitsevistä tekijöistä kasvihuonetuotannon kannattavuudelle.

Lisäksi säteilysummavalotusta voidaan hyödyntää suljetun kierron kasvihuoneessa. Menetelmässä seurataan päivän aikana kasvien saamaa luonnollista säteilyannosta ja annetaan vain tarvittaessa lisävalotusta, jotta kasvin vaatima säteilysumma saavutetaan.

Hyödynnettäessä uusinta modernia kasvihuonetekniikkaa saadaan energiatehokkuus paranemaan 1990-luvun tekovalon yksittäiskasvihuoneista kurkun osalta noin 46 % ja tomaatin noin 24 %. Verrattaessa luonnonvalotuotannon yksittäiskasvihuoneisiin kurkun energiatehokkuus on noin 61 % ja tomaatin noin 43 % parempi ryhmäkasvihuoneissa. Tämä on huomattava parannus perinteisiin kasvihuoneisiin verrattuna. Kasvihuone voidaan saada vieläkin ympäristöystävällisemmäksi käyttäen monia uusiutuvia energialähteitä polttoöljyn sijaan, kuten puupellettiä, polttohaketta, pilkettä, kutterinlastua, puuta, peltoenergiaa ja turvetta. Ympäristömyönteisempi fossiilinen polttoainevaihtoehto öljylle on maakaasu. Nykyään uusiutuvia energialähteitä hyödyntäviä energiatuotannon vaihtoehtoja ovat muun muassa kiinteät biopolttoaineet, biokaasut, maalämpö ja aurinkoenergiaratkaisut.

Kasvihuoneesta karkaavaa lämpöenergiaa voidaan vähentää varjostus- ja lämpöverhoilla, eristämällä seiniä ja putkia, ottamalla käyttöön dynaaminen kasvuolosuhteiden säätö ja säätämällä muita laitteita, pyrkimällä vaikuttamaan ympäröiviin tuuliolosuhteisiin suojaistutuksilla ja maavalleilla. Sähköenergiaa voidaan säästää uusimalla kasvihuonevalaisinten polttimot säännöllisesti, pumppuja säätämällä, säteilysummavalotuksella eli dynaamisella lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden säätämisellä, kahden verhon tekniikalla, sadonkorjuulla, kylmävaraston pakotetulla ilmakierron jäähdytyksellä ja jakamisella.

11.4 Energia- ja jätevirrat

Kasvihuoneen energia koostuu kolmesta asiasta: auringon säteilystä, sähköenergian tuottamasta valosta ja lämmityksestä. Ympärivuotisessa viljelyssä noin puolet energiasta on lähtöisin kasvihuonevihannesten valotukseen tarkoitetuista lampuista. Loppuosa on sitten auringon säteilyä ja lämmitystä. Nykyisillä hehkulampuilla ja suurpainenatriumvalaisimilla 93 % valaistustehosta muuttuu suoraan ja välillisesti lämpöenergiaksi. Suljetussa kasvihuoneessa sähköenergiaa kuluttavat valotuksen ja lämmityksen lisäksi pumput. Avoimessa kasvihuoneessa sähköä vievät edellisten lisäksi puhaltimet. Kasvihuoneeseen tuleva energia poistuu johtumalla tai tiivistymällä katteiden kautta.

Kasvihuonetuotannossa syntyy monenlaisia jätteitä. Tyypillisiä jättejakeita ovat puutarha-, energia-, pahvi-, paperi-, tasolasi-, metalli- ja ongelmajäte. On huomattava, että jätettä syntyy itse viljelyn lisäksi esimerkiksi energiantuotannosta.

Suljetun kierron kasvihuoneessa käytetään väli-istutus-menetelmää, jolloin sadonkorjuussa ei ole lainkaan taukoja, vaan uudet kasvit kasvavat hetken rinta rinnan vanhojen kanssa. Tällöin puutarhajätettä syntyy tasaisesti koko vuoden, mutta suhteellisesti hiukan enemmän kuin perinteisessä kasvihuoneessa. Suljetun kasvihuoneen kurkkuviljelmällä syntyy 17 % enemmän kasvijätettä samalla alalla kuin avoimessa kasvihuoneessa.

Puutarhajäte voidaan joko polttaa tai kompostoida. Jätteen hävittämisessä suositellaan ensisijaisesti kompostointia.

Kasvihuonetuotannossa syntyy energiajätteinä muovia, puuta, paperia ja pahvia. Muoveista PVC ja alumiinimuovi eivät sovellu polttoon, vaan ne on kierrätettävä muulla tavoin. Alumiinia vastaanottavia yrityksiä löytyy eri puolilta Suomea. Alumiini on yksi arvokkaimmista jättejakeista, mitä kasvihuonetuotannossa syntyy. Lisäksi kasvihuoneiden katemateriaaleina käytettävät akryyli ja polykarbonaatti soveltuvat energiajätteiksi. Katemateriaalien hyötykäyttöä energiajätteiksi saattavat rajoittaa mahdolliset muoviin lisätyt palonestoaineet, joista yleisin on bromi. Bromattuja muoveja poltettaessa syntyy savukaasuihin myrkyllisiä yhdisteitä. Katemateriaali voidaan myös murskata polttamisen sijaan ja siten hävittää syntynyt muovijäte.

Puujäte on yksi erinomainen energiajäte kasvihuonetuotannossa, kyllästetty puu on taas ongelmajätettä. Lisäksi kasvihuoneista syntyy paperi- ja pahvijätettä. Ensisijaisesti paperi- ja pahvijätteet erilliskerätään ja kierrätetään. Paperijäte voidaan jakaa kahteen alalajiin: puhtaaseen valkoiseen konttoripaperiin ja sanomalehtiin ja mainoslehtisiin.

Tasolasijätettä syntyy runsaasti lasikatteisissa kasvihuoneissa purkamisvaiheessa. Se voidaan myydä Suomen Uusioaines Oy:lle. Purkamisvaiheessa syntyy lisäksi paljon metalliromua, joka kannattaa kerätä erikseen, koska lajitellusta metallista saa paremman hinnan kuin metalliromusta, joka on läjitetty samaan sekapeltiromukasaan. Metalliromusta saatava korvaus riippuu matkan pituudesta vastaanottopisteestä purkukohteeseen. Lisäksi romun arvoon vaikuttaa senhetkinen markkinahinta.

Kasvihuonetuotannossa syntyy monenlaisia ongelmajätteitä. Tavanomaisimpia ongelmajätteitä ovat käytöstä poistettavat torjunta-ainepakkaukset, loisteputket, akut, öljyt, öljysuodattimet, suurpainenatriumlamput, jäähdytinnesteet, maalit ja kyllästetty puu. Parhaana tapana säilyttää jätteet on sen alkuperäinen pakkaus. Jos alkuperäistä pakkausta ei voida enää käyttää, on ongelmajätteet lajiteltava järkevästi. Tarkasta lajittelusta on hyötyä yrittäjälle. Esimerkiksi hyvänlaatuisten käytettyjen öljyjen kuljetus ja käsittely on jätteen tuottajalle ilmaista. Ongelmajätteistä on pidettävä kirjaa, johon kirjataan tullut ja lähtenyt ongelmajäte.

11.5 Katelaskelmat ja pääoma

Katelaskelmien suorittamiseksi oli määritettävä tomaatin, kurkun ja salaatin markkinahinta. Tässä opinnäytetyössä kasvihuonetuotteiden hintaan vaikuttavaa kausivaihtelua ei otettu huomioon. Salaatin hinnaksi saatiin 0,54 euroa kappaleelta, tomaatin 1,76 euroa kilolta ja kurkun 1,50 euroa kilolta.

Luotujen katelaskelmien perusteella salaatin viljely on kannattavaa liiketoimintaa kaikilla kustannus-satotasoilla. Kurkun viljely on ainoastaan kannatta-

vaa realistisella ja optimistisella integroiduilla kasvihuonevertailutasoilla. Tomaatin viljely tuottaa tappiota kaikilla vertailu- ja satotasoilla.

Siirryttäessä kustannus-satotasolta toiselle kasvaa kate II eli tulos, jossa on laskettu tulojen ja kustannusten erotus ja maksettu kaikki pankin lainan vaatimat korot ja kuoletukset. Kauppapuutarhaliiton mukaan jos satotaso on alhainen, niin liiketoimintaa ei saa kannattavaksi, vaikka vihanneksesta saatavaa hintaa nostettaisiin huomattavastikin.

Katelaskelmat on laskettu annuiteettimenetelmällä, mikä perustuu Agropolis Oy:n tekemään kurkun katelaskelmaan. Menetelmän heikkoutena on se, että kun lainaa lyhennetään ja korko pysyy samana, koron eurosuuruus pienenee. Tämä vaikuttaa lopulliseen pankille maksettavan koron määrään, mikä on todellisuudessa pienempi kuin annuiteettimenetelmällä laskettu. Toisaalta tällä investointimenetelmällä laskettaessa voidaan määrittää niin sanottu pahin tilanne eli alkutilanne, joka kertaantuu koko pitoajan. Tämä tuo investoinnille varmuutta ja antaa hyvän kuvan investoinnin kannattavuudesta.

Katelaskelmissa suljetussa kasvihuoneessa pääomakustannuksiksi voidaan laskea kustannukset kasvihuoneen rakentamiseksi, tekniset tilat järjestelmän ylläpitämiseksi, jäähdytysjärjestelmä, lämmönvaihto, tonttivuokra ja pankin laina korkoineen. Tällöin yhden hehtaarin pääomaksi saatiin 4 554 300 euroa, kahden hehtaarin kokoiselle kasvihuoneelle 8 065 500 euroa ja viidelle hehtaarille 17 373 600 euroa. Noin 800 000 euron pääomakustannusten kasvu verrattuna perinteiseen kasvihuoneeseen johtuu MTT:n kehittämästä pisaraverho-jäähdytysjärjestelmästä. Pisaraverhojäähdytysjärjestelmän osuus kasvihuoneen pääomakustannuksista on merkittävä, lähes viidennes. Perinteisen kasvihuoneen pääomakustannukset katelaskelmissa olivat seuraavat: yhden hehtaarin 3 756 300 euroa, kahden hehtaarin 7 267 500 euroa ja viiden hehtaarin 16 575 600 euroa. On muistettava, että satotason koon kasvattaminen lisää pääomakustannusten lisäksi työ- ja energian ja raaka-aineiden tarvetta.

11.6 Herkkyysanalyysi

Herkkyysanalyysin perusteella voidaan todeta, että 10 % muutos kustannuksiin vaikuttaa katelaskelmiin tapauskohtaisesti. Yleisesti voidaan todeta, että sähkövalon muutos on 2-4 prosenttiyksikköä, vaikkakin salaatin katelaskelmissa muutosta ei juuri havaittu. Henkilöstökustannuksissa 10 % muutos suuntaan jos toiseen vaikuttaa noin 1-3 prosenttiyksiköllä. Salaatin ja tomaatin katelaskelmissa 10 % muutos ei näy juuri lainkaan, muutos on erittäin pieni, 1 prosenttiyksikön verran. Kurkun katelaskelmille tehty herkkyysanalyysi osoittaa muutoksen olevan 3 prosenttiyksikön luokkaa. Yleisesti ottaen 10 % muutos katelaskelmien kustannuksiin vaikuttaa vain vähän. Suurin muutos on nähtävissä kustannusten merkittävimmissä tekijässä energiankulutuksessa.

11.7 Modernin kasvihuoneen tulevaisuus

Yhtenä Envi Grow Park -ekoteollisuuspuisto kehittämisprojektin tavoitteena on rakentaa Forssan Envitech-alueelle biojalosteita hyödyntävä tuotantoyksikkö eli biojalostamo. Vihanneskasvihuone, joka toimii suljetun kierron periaatteella, on yksi mahdollinen tuotantovaihtoehto biojalostamon yhteyteen. Tämän opinnäytetyön katelaskelmien perusteella on tarkoitus määrittää, mikä olisi mahdollinen kasvatettava vihannes mahdollisesti rakennettavassa suljetun kierron kasvihuoneessa.

On mahdollista, että kasvihuoneen vaatima lämpöenergia voidaan saada esimerkiksi Envitech-alueelle rakennetusta mädättämöstä. Lopputuotteena syntyvää ylijäävää lämpöä voidaan käyttää vihanneskasvihuoneen lämmitykseen. Lisäksi mädättämöstä syntyy lopputuotteena hiilidioksidia, joka voidaan hyödyntää vihanneskasvihuonetuotannossa, tai hiilidioksidia voidaan kierrättää hyödyntäen sitä kasvihuoneessa käytettävässä lannoitteessa, jossa hiilidioksidi on yksi lisättävistä ainesosista. Mädättämökaasun (metaani ja hiilidioksidi) energiasisältö on $4\text{--}7 \text{ kWh/m}^3$ eli kaksi kuutiota kaasua vastaa suurin piirtein yhtä kiloa polttoöljyä. Tämän perusteella voidaan sanoa, että suljetun kierron kasvihuone noudattaa Envi Grow Park -ekoteollisuuspuisto kehittämisprojektin tavoitetta, mahdollisimman pitkälle vietyä suljettua kiertoa ja sekundääri- raaka-aineiden hyödyntämistä.

Vaihtoehtona biokaasulla toimivalle kasvihuoneelle on maalämpöjärjestelmä. Sen investointikustannukset ovat kohtalaisen korkeat, mutta käyttökustannukset ovat matalat ja lämpökerroin on normaalisti 2,5–3,0. Tällöin myös maalämpö on ajan mittaan kannattava investointi vihanneskasvihuonetuotannolle: energiaa säästävä ja ympäristöstä vällinen.

LÄHTEET

1. Internet-sivu, Envi Grow Park. Viitattu 10.11.2010.
<http://www.envigrowpark.fi>
2. Internet-sivu, Forssan vesihuoltoliikelaitos. Taksat. Viitattu 17.11.2010.
<http://vesihuoltolaitos.bootti.net/DowebEasyCMS/?Page=taksat>
3. Agropolis Oy. 2009a. Envi Grow Park – Biojalostamo ja ekoteollisuuspuisto kestävän liiketoiminnan innovaattoriksi Forssaan.
Biojalostamo ja ekoteollisuuspuisto_projsuun_10092009.pdf
4. Pirkkamaa, J. 2008. Ympäristöosaamisen tuotteistaminen ja asiakkuudet. Kehittämishankkeen raportti.
Ympäristöosaamisen tuotteistaminen ja asiakkuudet_JP.pdf
5. Internet-sivu, Joensuun Seudun Kehittämisyhtiö, JOSEK Oy. 2008. Viitattu 15.11.2010.
http://www.jdc.fi/filebank/5238-YT_22_Investointilaskelmat_080924.pdf
6. Mäenpää, S. 2007. Ympäristöjohtamisen sanasto. Vaasan yliopisto. Viestintätieteiden laitos. Terminologinen projekti. Harjoitustyö. Viitattu 5.12.2010.
<http://lipas.uwasa.fi/termino/WasaTerm/ymparistojohdaminen/investointilask.html>
7. Hämäläinen, J-P. 2010. Yrityksen strategisten investointien suunnittelun erityispiirteet. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Kauppatieteiden osasto. Kandidaatintutkielma. Viitattu 18.11.2010.
<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/63626/nbnfi-fe201009082412.pdf?sequence=3>
8. Hanhilahti, M. & Mitikka, E. 2010. Investointilaskennan nykytila espoolaisissa ja vantaalaisissa pk-yrityksissä. Laurea-ammattikorkeakoulu. Liiketalouden koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Viitattu 19.11.2010.
<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/17117/Opinnaytetyo%20Hanhilahti%20Mitikka.pdf?sequence=1>
9. Tahvonen, R. 2007. Älykäs kasvihuone ja älyviljely. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. Hankkeen tiivistelmä. Viitattu 15.12.2010.
https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/mtt/tutkimus/hankehaku/Hankkeentie-dot?p_kielikoodi=FI&p_hanke_seqno=211137&p_kysely_seqno=33920&p_hakutyyppi=perus

10. Riekkinen, M. 2009. Moderni suurkasvihuonetuotanto. Kierrätettävien biomateriaalien käytön esteiden selvitys. Hiilidioksidin erotus biokaasusta kasvihuonekäyttöön.

Moderni suurkasvihuone (korjattu)_MR30062009.doc

11. Internet-sivu, Biolan Oy. Biolanin kehittämälle Novarbo-järjestelmälle ympäristöpalkinto. Viitattu 17.12.2010.

http://www.biolan.fi/suomi/default2.asp?active_page_id=710

12. Anderson, J. 2010. LED-valaistus kasvihuoneisiin. Aalto-yliopisto. Teknillinen korkeakoulu. Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta. Elektroniikan laitos. Valaistusyksikkö. Diplomityö. Viitattu 12.12.2010.

<http://lib.tkk.fi/Dipl/2010/urn100209.pdf>

13. Internet-sivu, Wikipedia. Säteilivoimakkuus. Viitattu 10.1.2011.

<http://fi.wikipedia.org>

14. Ruokolainen, K. 2006. Laitteisto materiaalien spektriseen ikääntymiseen ultraviolettisäteilyllä. Teknillinen korkeakoulu. Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto. MIKES TKK Mittaustekniikka. Diplomityö. Viitattu 10.12.2010.

<http://lib.tkk.fi/Dipl/2006/urn007596.pdf>

15. Agropolis Oy. 2009b. Toimintakertomus ja tilinpäätös.

16. Internet-sivu, Novarbo Oy. Viitattu 17.12.2010.

<http://www.novarbo.fi>

17. Äystö, H. & Rahtola, M. 2004. Kasvihuoneyrittäjän ympäristöopas. Vantaa: Mestarioffset Oy. Julkaisu n:o 17. 1. p.

18. Hiltunen J, Ahvenharju S, Hagström M & Vanhanen J. 2005. Kasvihuoneviljelijän energia- ja ilmasto-opas. Gaia Group Oy.

19. Tahvonen, R. 2010. Jäähdytyksellä suljettuun kasvihuoneeseen.

<http://www.smts.fi/jul2010/esite2010/073.pdf>

20. Internet-sivu, Biokaasu yhdistys ry. Biokaasurekisteri. Viitattu 8.1.2011.

<http://www.biokaasuyhdistys.net/images/stories/pdf/biokaasulaitosrekisteri13.pdf>

21. Tahvonen, R. 2009. Nykyaikainen kasvihuone ja energiatehokas sadon tuotto. Puutarha & kauppa. 2009 (13), 4-6. Viitattu 20.1.2011.

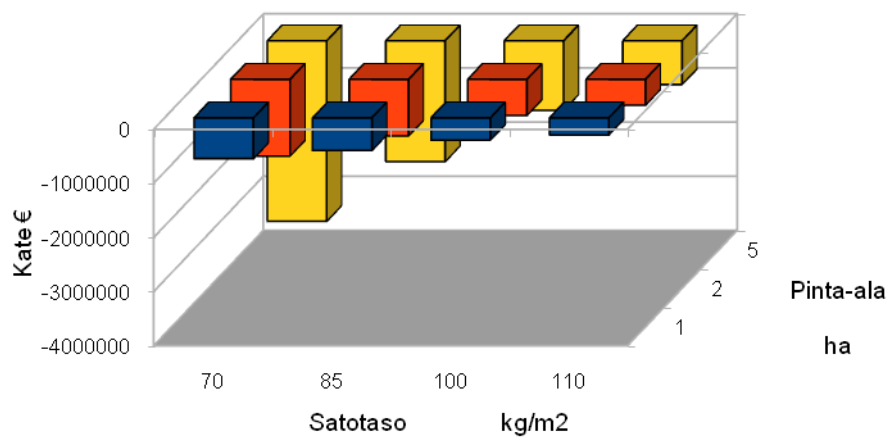
22. Rantanen, K. 2005. Kasvihuone kuin avaruuslaivassa. Tiede-lehti. 2005 (9). Viitattu 24.1.2011.

http://www.tiede.fi/artikkeli/530/kasvihuone_kuin_avaruuslaivassa

23. Napari, M. 2010. Vesihuoltojohtaja, Forssan Vesihuoltoliikelaitos. Puhelinkeskustelu 17.11.2010.
24. Tahvonen, R. 2011. Professori, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. Puhelinkeskustelut 19.1.2011 & 24.1.2011.
25. Murmann, T. 2011. Vihannesviljelyn asiantuntija, Kauppapuutarhaliitto ry. Puhelinkeskustelu 20.1.2011.
26. Internet-sivu, Kauppapuutarhaliitto ry. Viitattu 21.1.2011.
<http://www.kauppapuutarhaliitto.fi/>
27. Motiva Oy. 2005. Kasvihuoneiden energiankulutus Suomessa. Viitattu 15.1.2011.
http://www.motiva.fi/files/2381/Kasvihuoneiden_energiankulutus_Suomessa_24082005.pdf
28. Secher, M. 2006. Kasvihuone. Suomenkielinen painos. Helsinki: Otava.
29. Rentola, J. 2009. Kannattavuuslaskenta – Automaattinen pakettien lajittelujärjestelmä kappalevaraterminaaliin. Hämeen ammattikorkeakoulu. Teknologiaosaamisen johtaminen. Ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö.
30. Seppänen, R, Kervinen M, Parkkila I, Karkela L & Meriläinen P. 2006. MAOL taulukot. 2.-3. painos. Helsinki: Otava.
31. Tahvonen, R. 1.2.2011. Pölytys. Vastaanottaja Teemu Keitaanpää. [sähköpostiviesti]. Viitattu 2.2.2011.

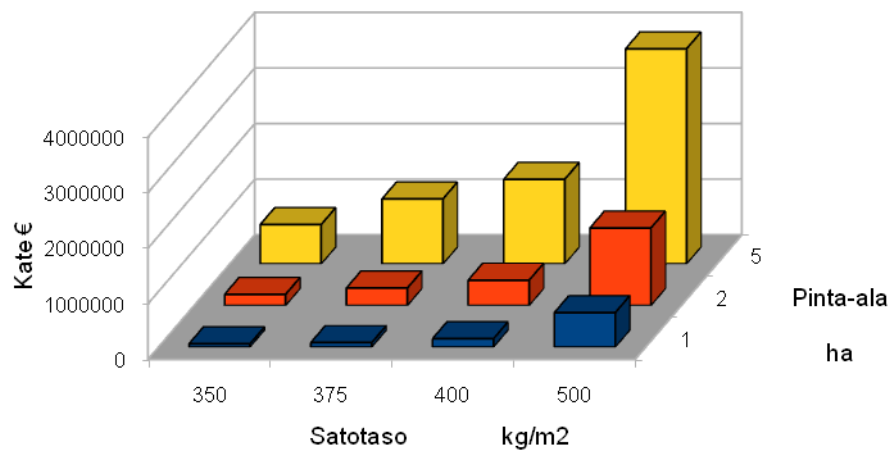
KASVIHUONETOMAATIN KATELASKELMA

Integroitu kasvihuone: Kate II eri satotasoilla ja pinta-aloilla



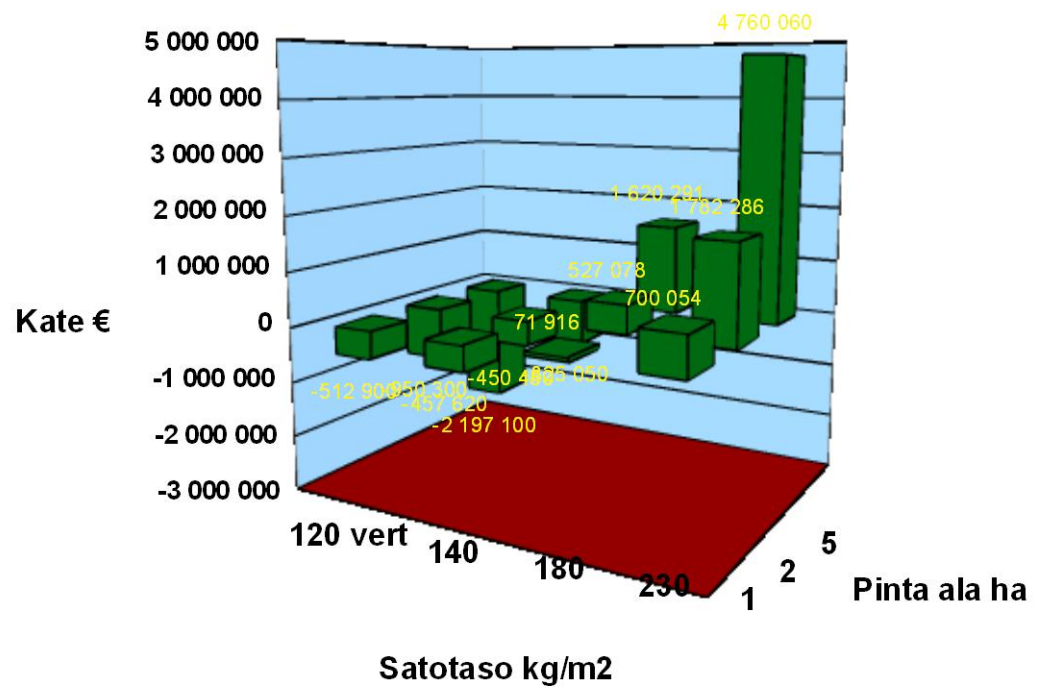
KASVIHUONESALAATIN KATELASKELMA

Integroitu kasvihuone: Kate II eri satotasoilla ja pinta-aloilla

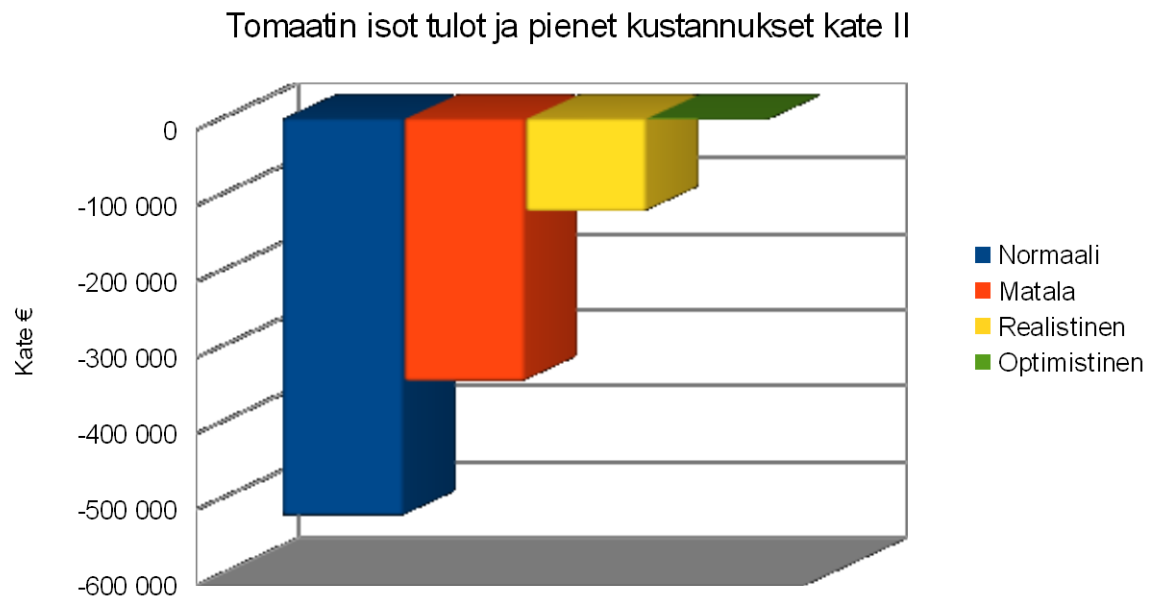


KASVIHUONEKURKUN KATELASKELMA

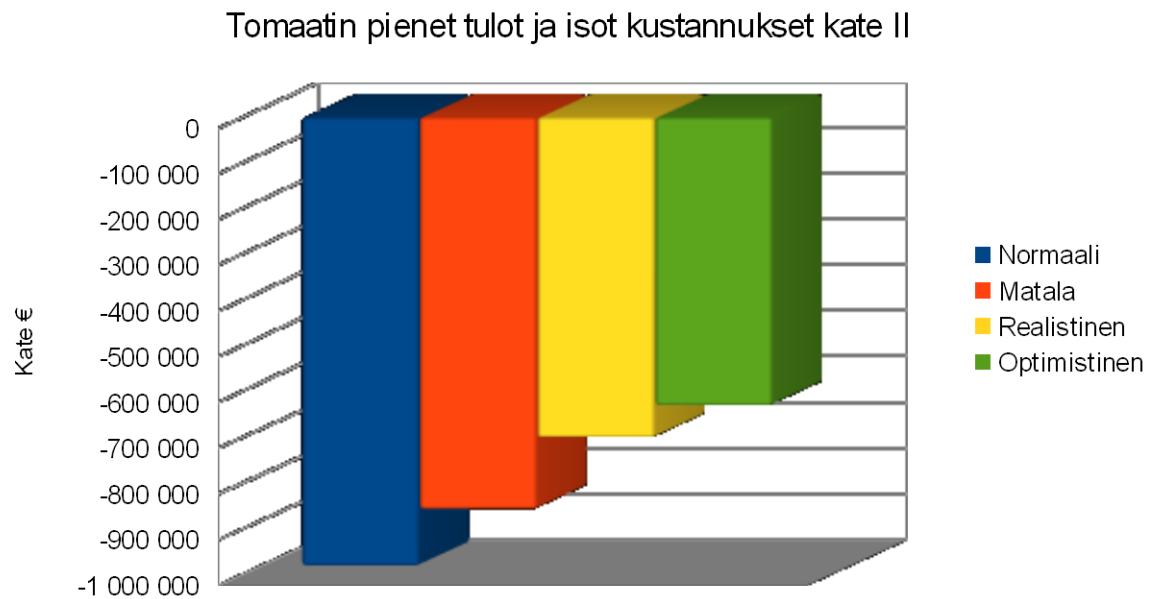
Integroitu kurkkukasvihuone: Kate II eri satotasoilla ja pinta-aloilla



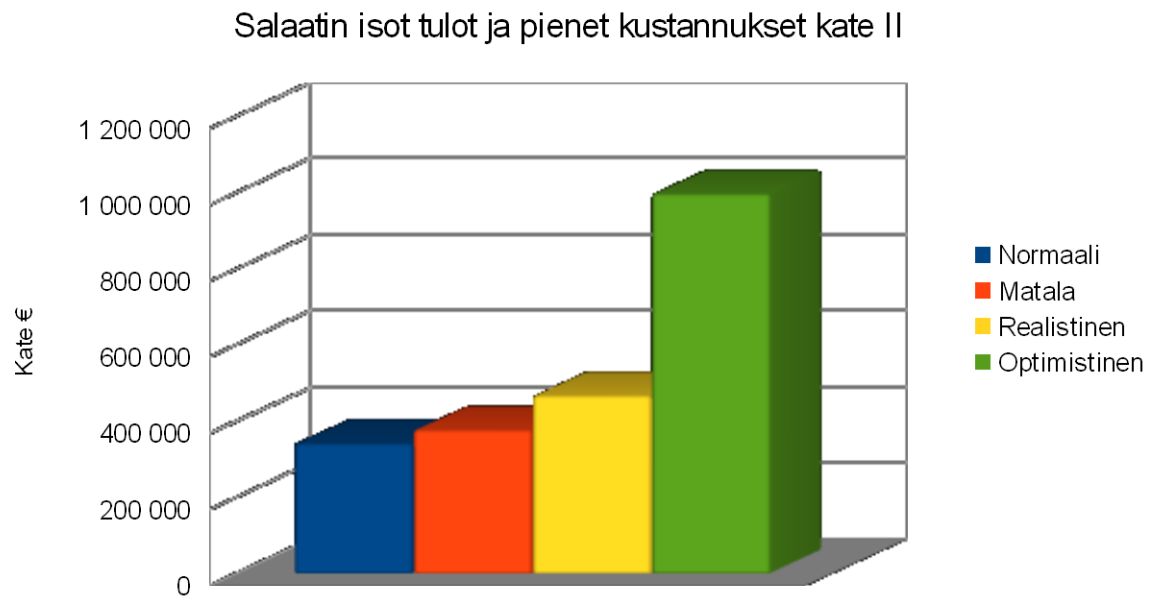
HERKKYYYSANALYYSI TOMAATIN ISOT TULOT JA PIENET KUSTANNUKSET
YHDEN HEHTAARIN SATOTASOLLA



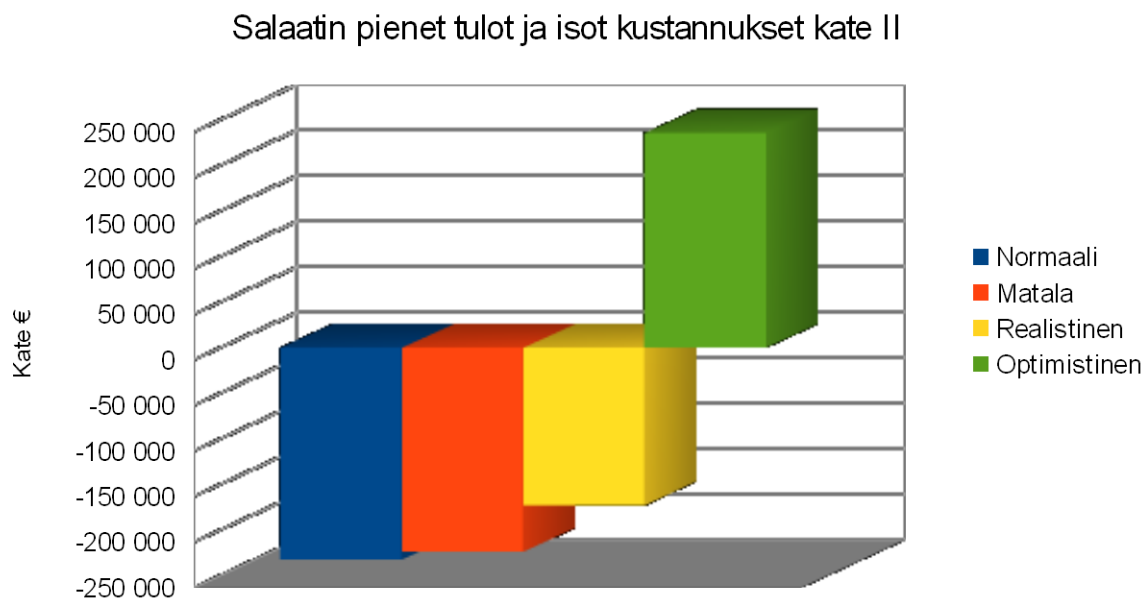
HERKKYYYSANALYYSI TOMAATIN PIENET TULOT JA ISOT KUSTANNUKSET
YHDEN HEHTAARIN SATOTASOLLA



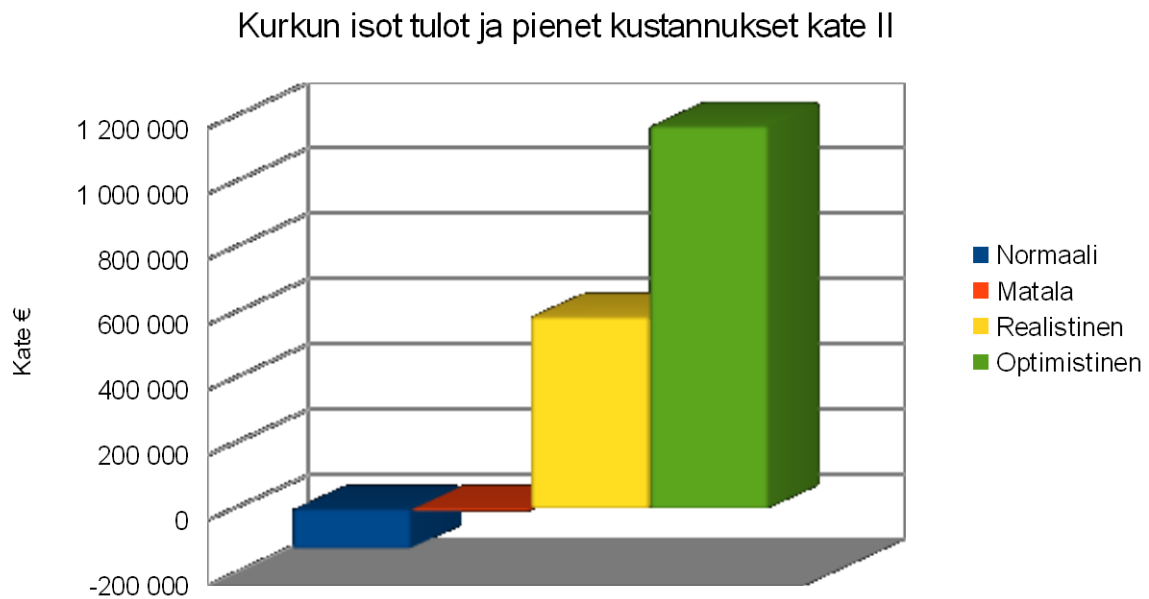
HERKKYYYSANALYYSI SALAATIN ISOT TULOT JA PIENET KUSTANNUKSET
YHDEN HEHTAARIN SATOTASOLLA



HERKKYYYSANALYYSI SALAATIN PIENET TULOT JA ISOT KUSTANNUKSET
YHDEN HEHTAARIN SATOTASOLLA



HERKKYYYSANALYYSI KURKUN ISOT TULOT JA PIENET KUSTANNUKSET YHDEN HEHTAARIN SATOTASOLLA



HERKKYYYSANALYYSI KURKUN PIENET TULOT JA ISOT KUSTANNUKSET YHDEN HEHTAARIN SATOTASOLLA

